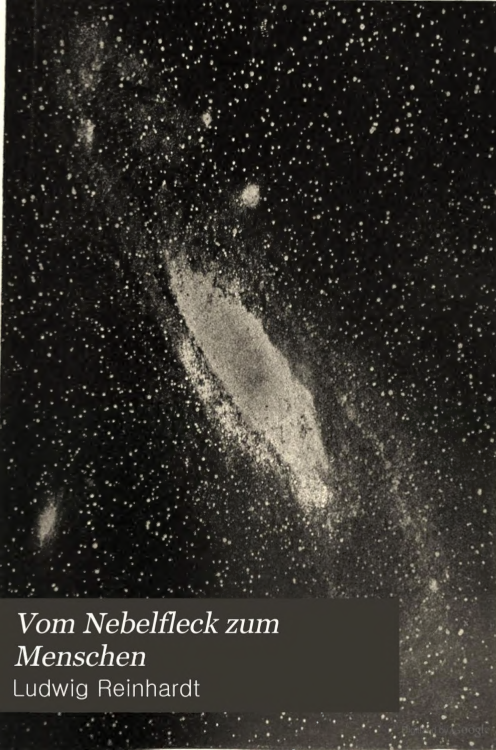
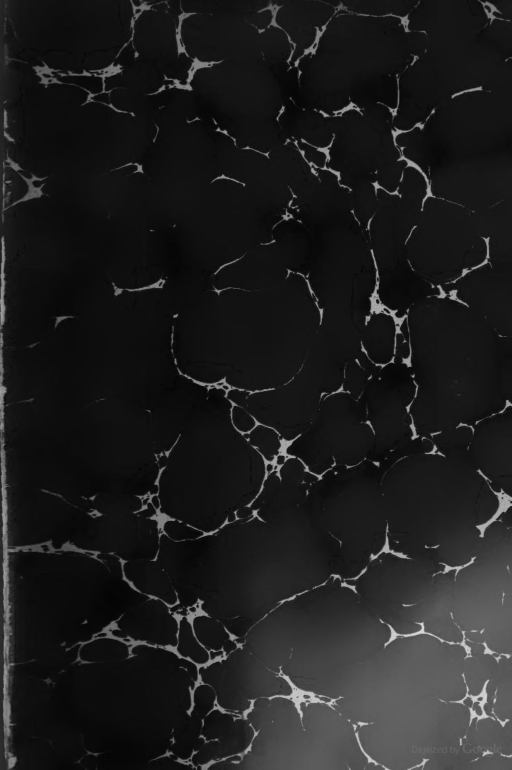


Vom Nebelfleck zum Menschen

Ludwig Reinhardt

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Vom Nebelfleck zum Menschen.

Eine gemeinverständliche Entwicklungsgeschichte des Naturganzen
nach den neuesten Forschungsergebnissen
von

Dr. Ludwig Reinhardt.

*

Die Geschichte der Erde.

Mit gegen 200 Abbildungen im Text, 17 Volltafeln und 3 geologischen
Profiltafeln, nebst farbigem Titelbild von A. Marcks.

Verlag von Ernst Reinhardt in München 1907.

Digitized by Google

Digitized by Google

Nat. Sci.
Gift
Prof. Fred(e)rick H. Epstein
2-23-70
3 vols.
819894-220

Digitized by Google

Dachstein (2996 m) mit Gosautal.

Letzteres ist ein typisches, durch Gletscher ausgeschliffenes Trogtal, das einst eine Reihe von Seen aufwies, die heute bis auf drei durch zunehmende Verschlämmung und Vertorfung verschwunden sind. Die schattenwerfende Terrasse in der Mitte des Bildes, die sich weit nach hinten verfolgen läßt, gibt an ihrer scharfen Kante die obere Grenze des Gletschers auf der Höhe der letzten Eiszeit an. (Nach Photogramm von Würthle & Sohn.)

Digitized by Google

Vom
Nebelfleck zum Menschen

Eine gemeinverständliche Entwicklungs-
geschichte des Naturganzen nach den
neuesten Forschungsergebnissen

von

Dr. Ludwig Reinhardt.

⁂

Die Geschichte der Erde

mit 194 Abbildungen im Text, 17 Vollbildern
und 3 geologischen Profiltafeln, nebst einem
farbigen Titelbild „Canjon des Colorado“ von
A. Marcks.

München 1907
Ernst Reinhardt, Verlagsbuchhandlung
Jägerstraße 17.

Digitized by Google

Natural Science
Library
Q
158
.R36
v. 1

Alle Rechte vorbehalten.

Druck M. Müller & Sohn, München V.

Digitized by Google

Vorwort.

Das Werk, das ich hiermit der Öffentlichkeit übergebe, ist eine für jeden Gebildeten verständliche Zusammenfassung unseres heutigen Wissens über den Kosmos. Als das Ergebnis eingehender Studien, die über zwei Jahrzehnte zurückreichen, ist aus der teilweise schwer zugänglichen wissenschaftlichen Literatur nicht nur das Neueste, sondern vor allem das durch gewissenhafte Forschung Gesicherte in bezug auf unsere Erkenntnis des Weltganzen in übersichtlicher Weise zusammengestellt und in logischem Zusammenhange aufgebaut worden.

Wenn ich in einem im vorigen Jahre in demselben Verlage erschienenen Buche versucht habe, die älteste Menschheitsgeschichte in ihrem uns nach und nach immer besser verständlichen Entwicklungsgange darzustellen und zu zeigen, wie aus einem Endsprosse des Primatengeschlechtes der Mensch sich herausbildete und die ersten Kulturstufen erklomm, die ihn erst aus dem Tierischen heraushoben, so soll diese neue Arbeit das, was dort nur andeutungsweise berührt wurde, des näheren ausführen. Es soll darin in großen Zügen die Entwicklung des Weltganzen gegeben werden. Vom rohen Urstoff, wie er uns in den Nebelflecken entgegentritt, bis zum belebten Wesen höchster Ordnung, dem nicht nur von Instinkten, wie das niedere Tier, geleiteten, sondern bewußt handelnden und die ganze Schöpfung mit seinem Denken umspannenden Menschen soll uns der Weg führen.

Im ersten Bande soll die Geschichte der Erde und, darauf fußend, im zweiten die Geschichte des Lebens auf der Erde gegeben werden. Nachdem wir den Aufbau unseres Planeten und die auf ihm rastlos tätigen physikalischen und chemischen Prozesse gründlich kennen gelernt haben, werden wir mit besserem Verständnisse dem Entwicklungsgange des Lebens auf ihm, von seinen ersten bescheidensten Anfängen bis zu den höchsten Äußerungen desselben, folgen können. Und auf diesem weiten Wege möchte dieses Buch den vielen Suchenden unserer Zeit ein zuverlässiger Führer sein, der ihnen in jedermann verständlicher klarer Darstellung den tieferen Zusammenhang der Dinge im Universum, von dem die Erde nur ein unbedeutendes und doch für uns so ungeheuer wichtiges Glied ist, erklären und sie zu eigenem

Digitized by Google

Denken und selbständigem Forschen über das so überaus bedeutsame Naturgeschehen anregen soll.

Um dem Leser ein möglichst anschauliches Bild der Erdgeschichte zu geben, habe ich versucht — und das könnte mir von wissenschaftlicher Seite zum Vorwurf gemacht werden — die Dauer einiger ihrer Hauptperioden durch genauere Zahlenangaben zu präzisieren. Alle bisherigen Autoren schweigen sich begreiflicherweise darüber aus und begnügen sich von ungeheuer langen Zeiträumen zu reden. Diese an sich nur zu berechtigte Reserve erschwert dem Laien eine Orientierung ungemein, während eine, wenn auch nur unvollkommene Schätzung ihm die Übersicht wesentlich erleichtert. Die Zahlen, die ich angebe, dürften zwar dem heutigen Stande unseres Wissens entsprechen, können jedoch auf Sicherheit keinerlei Anspruch machen. Sie wollen eben nur dem noch Ungeübten eine helfende Wegleitung geben, damit er sich an der Hand solcher Verhältniszahlen besser zurechtfinden und sich einen ungefähren Begriff machen könne von den ungeheuer langen Zeiträumen, mit denen wir es bei der Geschichte der Erde zu tun haben. Aber im tiefsten Grunde ist unser Begriffsvermögen doch absolut unzureichend, um derartige ungeheure Zahlenangaben richtig zu erfassen. Wer unter uns vermag sich eine genaue Vorstellung von 100 Millionen Jahren zu machen? Wer kann mit seinem Verstande erfassen, wie weit die Entfernung von 1400 Billionen km beträgt, die nach den neuesten Bestimmungen der nördlichste der hellen Orionssterne, die rötlich funkelnde Beteigeuze von uns absteht? Niemand. Aber gleichwohl suchen wir uns wenigstens einen annähernden Begriff von dieser Größe zu machen, indem wir diese unvorstellbar gewaltige Zahl umschreiben und sagen, daß der blitzartig schnelle Lichtstrahl, der in wenig mehr als einer Sekunde vom Monde zu uns auf die Erde eilt, zur Zurücklegung dieser Strecke volle 150 Jahre braucht. Und das ist einer der nahen Sterne. Wenn wir erst an die fernen denken, so beginnt uns geradezu zu schwindeln. Ebenso verhält es sich mit dem Alter der Erde. Hier sind unserem Erkenntnisvermögen unübersteigbare Schranken gezogen, die wir respektieren müssen. Aber die scheinbare Unendlichkeit versuchsweise zahlenmäßig abzuschätzen, um uns so eine bessere Vorstellung davon zu machen, das wird uns wenigstens erlaubt sein.

Basel, im Oktober 1906.

Dr. Ludwig Reinhardt.

Inhalt.

		Seite
I.	Wie das Weltbild entstand	1
II.	Die Sternenwelt	24
III.	Unser Sonnensystem	59
IV.	Die Erde und der Mond	110
V.	Kometen und Meteore	159
VI.	Die Erstarrungsgesteine der Erde	204
VII.	Der Vulkanismus	241
VIII.	Die Schichtgesteine	282
IX.	Die Gebirgsbildung	336
X.	Wasser und Land	401
XI.	Der Kreislauf des Wassers	436
XII.	Die Verwitterung der Erdoberfläche	480
XIII.	Die Abtragung des Festlandes	524

Digitized by Google

Übersicht über die Aufeinanderfolge der geologischen Zeitalter

mit besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse.

Perioden	Formationen	Stufen
Känozoische Periode oder Zeitalter der neueren Lebewesen. Schichtenhöhe der übereinanderliegenden Sedimente etwa 3000 m.	**Quartär**	Postpleistocän o. Alluvium (Gegenwart) Pleistocän oder Diluvium (Eiszeit)
	Tertiär Blumenpflanzen; warmblütige Säugetiere mit immer vollkommener Fruchtausreifung in unabsehbarer Fülle und nunmehr zahnlose Vögel.	Pliocän — Jungtertiär Miocän — Mitteltertiär Oligocän, Eocän } Alttertiär
Mesozoische Periode oder Zeitalter der mittleren Lebewesen, im Gegensatz zu Tertiär u. Quartär auch **Sekundärzeit** genannt. Schichtenhöhe der übereinanderliegenden Sedimente etwa 8000 m.	**Kreide** Windblütler; keine Eier mehr legende, ziemlich warmblütige Beuteltiere, bezahnte Urvögel, neben immer noch vorherrschenden Reptilen.	Senon, Turon, Cenoman } Obere Kreide Gault, Urgon, Neocom } Untere Kreide
	Jura Nadelhölzer; neben riesigen, Land und Wasser bewohnenden Reptilen, winzige, ebenfalls noch Eier legende, schwach warmblütige Ursäuger.	Malm oder weißer Jura Dogger oder brauner Jura Lias oder schwarzer Jura
	Trias Palmenfarne (Cycadeen); Kloakentiere, Reptile in zunehmender Größe und Bedeutung neben großen Amphibien, alle noch kaltblütig.	Keuper (vorwiegend Mergel) Muschelkalk Buntsandstein
Paläozoische Periode oder Zeitalter der altertümlichen Lebewesen, im Gegensatz zur späteren Sekundär-, Tertiär- und Quartärzeit auch **Primärzeit** genannt. Schichtenhöhe der übereinanderliegenden Sedimente etwa 25000 m.	**Dyas oder Perm** Ursamenpflanzen; zahlreiche Amphibien, durch Kiemen und Lungen atmende Fische.	Zechstein — Kalke Rotliegendes } Sandsteine u. Konglomerate
	Karbon oder Steinkohle Farne neben großen Bärlappen und Schachtelhalmen; Amphibien in steigender Bedeutung, erste Knochenfische.	Produktives Steinkohlengebirge Flözleere Sandsteine u. Schiefertone Kulm oder Kohlenkalk
	Devon baumart. Schachtelhalme u. Bärlappengewächse; Knorpel- und Panzerfische.	Oberes Devon, Mittl. Devon, Unteres Devon } Kalke, rote Sandsteine, Mergel und Tonschiefer
	Silur erste nachweisbare Landpflanzen und Landtiere.	Oberes Silur, Mittl. Silur, Unteres Silur } Dunkle Kalke, glimmerreiche Tonschiefer, Konglomerate und Sandsteine
	Kambrium ausschließlich niedere Meerespflanzen und wirbellose Meerestiere.	Ober. Kambrium, Mittl. Kambrium, Unter. Kambrium } Sandsteine, Konglomerate, Tonschiefer, fast keine Kalke wegen Mangel an kalkabsondernden Organismen
Azoische oder archäische Periode d. h. Zeitalter, aus welchem keine oder nur undeutliche Spuren von Lebewesen auf uns gekommen sind. Schichtenhöhe der Sedimente etwa 40000 m.	**Phyllite oder Urtonschiefer** mit körnigen Kalken und Graphitnestern als sicherem Zeichen, daß schon in den Meeren dieser Zeit allerdings ganz niedrig organisierte Lebewesen existierten **Alte Glimmerschiefer** mit Gneis und Graphit dazwischen **Urgneis**	

I.

Wie das Weltbild entstand.

Wenn wir unsere Augen in einer klaren Nacht zum Firmamente erheben, so erblicken wir eine Unmenge von meist äußerst winzigen Lichtpunkten, die wir als Sterne bezeichnen. Da uns zunächst jegliches Urteil über deren Entfernung fehlt, so versetzen wir dieselben unwillkürlich in unserer Vorstellung an die Innenfläche einer Kugel von unbestimmter, aber gewaltiger Größe, deren Mittelpunkt mit unserem Standorte zusammenfällt.

Diese scheinbare Himmelskugel dreht sich für uns in 24 Stunden von Osten nach Westen um eine gegen den Horizont festliegende Achse, die wir Weltachse nennen, und deren beide Punkte, da wo sie jene zu treffen scheint, die Pole genannt werden. Der uns sichtbare Pol heißt der Nordpol, der entgegengesetzte, welcher unter unserem Horizonte bleibt, der Südpol. Je näher ein Stern einem dieser Pole steht, um so kleiner ist der von ihm täglich durchlaufene Kreis, je entfernter er aber von ihm steht, um so größer ist er. Den größten Kreis beschreiben diejenigen Sterne, welche von beiden Polen gleich weit abstehen und daher in der Ebene sich befinden, die senkrecht auf der Umdrehungsachse liegt. Dieser größte Kreis wird der Himmelsäquator genannt.

Auch die Sonne nimmt an diesem allgemeinen Umschwung der ganzen Himmelskugel teil und erzeugt dadurch den Wechsel von Tag und Nacht. Allein sie hat außer dieser täglichen noch eine zweite, ihr eigentümliche Bewegung, vermöge welcher sie sich in einer der Richtung des täglichen Umschwungs entgegengesetzten Richtung, nämlich von Westen nach Osten, unter den Sternen fortbewegt. Dabei schneidet die als Ekliptik bezeichnete Ebene der scheinbaren Sonnenbahn die Himmels-

kugel in einem größten Kreise, welcher gegen den Äquator um einen gewissen Winkel geneigt ist. Man nennt diesen Winkel die Schiefe der Ekliptik; er beträgt gegenwärtig 23 Grad 27 Bogenminuten. Dabei sei erinnert, daß man den Umfang eines Kreises in 360 gleiche Teile zu teilen pflegt, deren jeder ein Grad genannt wird, und daß jeder Grad wiederum in 60 Bogenminuten und jede Bogenminute in 60 Bogensekunden geteilt wird.

Wenn die Sonne in den beiden Punkten steht, in welchen ihre Bahn den Himmelsäquator durchschneidet, so sind bei uns Tag und Nacht gleich lang. Dies bezeichnet man als Äquinoctial- oder Tag- und Nachtgleichenpunkte. Die davon um 90 Grad oder einen Viertelkreis abstehenden Punkte, in denen die Sonne am längsten Tage zur Zeit der Sommersonnenwende und am kürzesten Tag zur Zeit der Wintersonnenwende steht, bezeichnet man als Sommer- beziehungsweise Wintersolstitial- oder Sonnenwendepunkte.

Der scheinbare Sonnenlauf ist aber durchaus kein gleichmäßiger; denn in derselben Zeit durchläuft die Sonne im Winter größere Bogen als im Sommer und verweilt daher im nördlichen Teile der Ekliptik, also vom Frühlingsanfang bis zum Beginne des Herbstes, fast acht Tage länger als in der südlichen Hälfte. Den größten Bogen, den sie in einem Tage durchläuft, legt sie anfangs Januar zurück; er beträgt 61 Bogenminuten. Den kleinsten, nämlich 57 Bogenminuten, durcheilt sie anfangs Juni. Die ganze Ekliptik wird von ihr in der fast genau gleichen Zeit von einem Jahre, oder genauer ausgedrückt in 365 Tagen 5 Stunden 48 Minuten 46 Sekunden durchlaufen. Die Ekliptik wird nach dem Vorgange der alten Chaldäer, die sehr eifrige Himmelsbeobachter waren, weil sie am Laufe der Wandelsterne ihr eigenes Schicksal ablesen zu können glaubten, in 12 gleiche Teile von je 30 Grad geteilt, welche die Namen der Sternbilder, mit welchen schon sehr frühe die rings um die Sonnenbahn liegenden Sterngruppen bezeichnet wurden, führen. Deshalb nennt man sie auch Zodiakus oder Tierkreis.

In ganz ähnlicher Weise wie die Sonne unter den Sternen einen Umlauf in einem Jahre vollendet, durchläuft der Mond den Himmel in einem als Monat bezeichneten Zeitraum von 27 Tagen 7 Stunden 43 Minuten 11½ Sekunden. Das ungefähre Bild dieser Bewegung ist um so leichter zu erkennen, als der Mond des Nachts zugleich mit den Sternen sichtbar ist und die jeweilige Veränderung seines Ortes unter ihnen unmittelbar beobachtet werden kann. So erkennt man leicht, daß auch der Mond sich annähernd in einem größten Kreise in der Richtung von Westen

nach Osten fortbewegt und daß die Ebene seiner Bahn etwa fünf Grade gegen die Ekliptik geneigt ist. Die dabei entwickelte Geschwindigkeit ist ähnlich wie bei der Sonne eine ungleichförmige. Während nämlich der Mond in einem Teile seiner Bahn einen Bogen von 12 Grad innerhalb eines Tages zurücklegt, durchläuft er in derselben Zeit an der entgegengesetzten Stelle seiner Bahn einen um drei Grade größeren Weg. Aus dem Wechsel der Lichtgestalten und ihrem Zusammenhang mit der Stellung der Sonne geht unzweideutig hervor, daß dieses Gestirn an und für sich ein dunkler Körper ist, der uns nur, insoweit er von der Sonne beschienen ist, sichtbar wird.

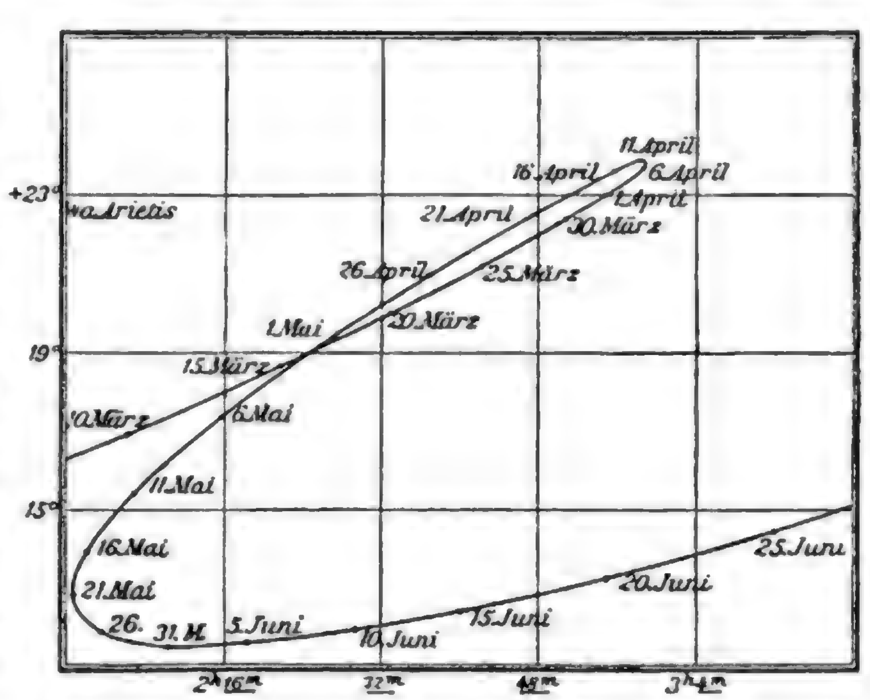


Fig. 1. Schleifenförmige Bewegung des Planeten Venus im Jahre 1889.

Neben der Sonnen- und Mondbewegung ist der Lauf der **Wandelsterne** oder **Planeten** ein höchst komplizierter, wenn derselbe auch vorwiegend von Westen nach Osten gerichtet ist und innerhalb einer gewissen Zone zu beiden Seiten der Ekliptik erfolgt. Während nun Mars, Jupiter und Saturn sich um jeden Bogenabstand von der Sonne entfernen können, so daß sie bald ihr gegenüberstehen, bald in ihrem Lichte verschwinden, das eine Mal auf ihrer östlichen, zu einer andern Zeit auf ihrer westlichen Seite erscheinen, entfernen sich Merkur und Venus niemals über eine gewisse Grenze von der Sonne und oszillieren, d. h. pendeln um sie gleichsam wie die Kugel eines Pendels um ihre Mittellage. Jene werden die **oberen**, diese die **unteren Planeten** genannt.

Der Lauf der ersteren unter den Wandelsternen ist zwar, mit demjenigen der letzteren verglichen, ganz abgesehen vom bis zum Maximum gehenden Betrage ihres Winkelabstandes von der Sonne, der bei letzteren eine gewisse Grenze niemals überschreitet, auch vorwiegend von Westen nach Osten gerichtet, geschieht aber zu gewissen, von ihrer Stellung zur

Sonne abhängigen Zeiten jedoch in entgegengesetztem Sinne, indem sie, wie man sagt, rückläufig werden und dabei in ihrer Bahn allerlei Schleifen oder Schlingen beschreiben.

Infolge dieser überaus komplizierten Bewegungen ist es ganz begreiflich, daß es sehr lange gedauert hat, bis man über die wirklichen Planetenläufe aufgeklärt war. Den ersten Schritt zu dieser Erkenntnis haben die Griechen getan, indem sie als die ersten erkannten, daß die Erde keine flache Scheibe ist, wie man bis dahin allgemein geglaubt hatte, sondern wie Anaximandros, ein Schüler des Thales, um 550 vor Christus lehrte, einen walzenförmigen Körper darstelle, der, durch die Weltachse an das Himmelsgewölbe geschmiedet, sich in 24 Stunden um sich selbst dreht. Selbstverständlich konnte jene Zeit den Begriff eines freischwebenden Körpers noch nicht fassen.

50 Jahre später hat die Schule der Pythagoräer in gerechter Würdigung des Umstandes, daß bei den Mondfinsternissen der auf den Mond fallende Erdschatten stets rund ist, den weiteren naheliegenden Schluß gezogen, daß die Erde nach allen Seiten hin rund, also kugelförmig sein müsse. Auch von den scheinbar größten Himmelskörpern, Sonne und Mond, mußte man durchaus diese Überzeugung gewinnen, woraus dann Rückschlüsse auf die Erde gezogen werden konnten.

Nach der Ansicht der späteren griechischen Philosophen kreisten um die feststehende Erdkugel, konzentrisch auf der Weltachse angeordnet, innerhalb der Fixsternsphäre, dem primum mobile, sieben vollkommen durchsichtige Hohlkugeln, die sogenannten Sphären, an denen die damals bekannten sieben Planeten befestigt sein sollten, deren Umschwung um einander eine nur den Göttern vernehmbare, wie man annahm, wunderbare Musik, die sogenannte Sphärenharmonie, erzeuge.

Je mehr man aber in der Erkenntnis der Bewegungen der Himmelskörper fortschritt, um so verwickelter wurde die Sache, so daß man nach und nach zwei bis drei Dutzend weiterer Sphären zur Erklärung der sich häufenden Unregelmäßigkeiten zu Hilfe nehmen mußte. Die Annahme einer gleichförmigen Bewegung im Kreise, von welcher man bis tief ins Mittelalter hinein durchaus nicht loskommen konnte, erhielt eine erste Erschütterung durch die Entdeckung des in der ersten Hälfte des zweiten vorchristlichen Jahrhunderts in Alexandria lebenden Begründers der wissenschaftlichen Astronomie, Hipparchos, der fand, daß, genau besehen, die Länge der Jahreszeiten ungleich ist. Da dieser scharfsinnige Grieche, der zuerst die Größe und Entfernung des Mondes annähernd richtig bestimmte, für die Größe und Entfernung der Sonne

aber viel zu kleine Werte fand, nicht den geringsten Zweifel in die Annahme der gleichförmig schnellen Kreisbewegung der Sonne setzte, half er sich aus der Verlegenheit, indem er annahm, daß die Sonnenbewegung uns nur deshalb ungleichförmig schnell vorkomme, weil der Mittelpunkt ihrer Bewegung außerhalb der Erde irgendwo im freien Raume liege. Dadurch bewege sie sich scheinbar schneller, wenn sie in demjenigen Teile des Kreises läuft, dem die Erde näher steht, und umgekehrt langsamer im entgegengesetzten Teile ihrer Bahn.

Einen wesentlichen Schritt weiter kam Claudios Ptolemäos, der um 140 nach Christus in Alexandria, dem Hauptsitze der damaligen Forschung, lebte. Auf die von ihm als richtig befundenen Beobachtungen und Berechnungen Hipparchs sich stützend, behielt er zwar dessen exzentrische Kreise unverändert bei, ließ aber, mit Ausnahme von Sonne und Mond, die fünf eigentlichen Planeten nicht direkt auf den Peripherien dieser Kreise laufen, sondern bewegte auf ihnen wiederum den Mittelpunkt je eines anderen Kreises, auf dem der betreffende Planet erst wirklich lief.

Damit wurde zum ersten Male mit der nunmehr unhaltbar gewordenen bisherigen Ansicht des Sphärenbaues, wenigstens insofern Sonne, Mond und die Planeten in Betracht kamen, aufgeräumt. Man mußte sich notgedrungen mit dem Gedanken einer freien Bewegung der Körper im Himmelsraume befreunden. Nur die letzte und größte der Sphären, die an der Grenze des Weltalls die Fixsterne trug, wurde auch von Ptolemäos beibehalten.

Dieses äußerst komplizierte ptolemäische Weltsystem mit der unbeweglichen Erde als Mittelpunkt des Universums hat anderthalb Jahrtausende unbestritten seine Herrschaft bei den Gelehrten behauptet, während natürlich die große Menge, wenn sie überhaupt über solche Dinge nachdachte, nicht einmal an die Kugelform der Erde glaubte, sondern sie wie in den ältesten Zeiten der Menschheitsgeschichte als mitten im All ruhende Scheibe ansah, um die und für die sich das ganze Weltgetriebe durch den Willen Gottes abspielte. Die ptolemäische Weltanschauung war die letzte Blüte der hellenistischen Kultur im Altertum. Sie überdauerte auch den Verfall des römischen Weltreiches und wurde von den Arabern, als den Erben und Pflegern der altgriechischen Wissenschaft, übernommen.

Merkwürdigerweise zeigten gerade auch deren Fürsten ein solches Verständnis für die an den Sitzen einstiger griechischer Kultur erhalten gebliebenen Geisteswerke der Alten, daß beispielsweise der im Jahre 786

geborene Chalif Al Mamum dem überwundenen griechischen Kaiser Michael II. die Auslieferung sämtlicher in seinem Besitze befindlicher griechischer Manuskripte, um diese übersetzen zu lassen, als Vorbedingung für den Abschluß eines Friedens stellte. Unter ihnen befand sich auch die Megale Syntaxis oder große Zusammenstellung, worin Ptolemäos seine Weltanschauung der Nachwelt vermacht hatte. Diese wurde nun unter der Bezeichnung Almagest in die Sprache der arabischen Eroberer übersetzt und gelangte in der Folge mit der Ausbreitung des Mohammedanismus auch nach Spanien. Dort lernte das Abendland das berühmte Geisteswerk des Ptolemäos kennen, das in der Folge geradezu als göttliche Offenbarung angesehen wurde, an deren Inhalt zu zweifeln beinahe als ein Verbrechen galt.

Je genauer nun nach der geistigen Dürre des Mittelalters vorurteilsfreie Geister die Himmelserscheinungen zu beobachten begannen, um so unzureichender erwies sich das so vielgepriesene ptolemäische System. Die Zahl der Hilfskreise wuchs dermaßen an, daß Alfons X. von Kastilien (1223 bis 1284), der in Toledo mit ungeheurem Aufwande von den gelehrtesten Männern seiner Zeit neue astronomische Tafeln für die Vorausberechnung des Laufes der Wandelsterne herstellen ließ, beim Aufbau dieser verwickelten ineinander gefügten Kreisbewegungen voll ungläubigen Staunens ausrief: wenn Gott ihn bei der Schöpfung um Rat gefragt hätte, würde er die Sache entschieden einfacher eingerichtet haben. Diese unbesonnene Äußerung hat allerdings dem Könige in der Folge wegen Gotteslästerung den Thron seiner Väter gekostet. Verlassen von allen seinen Getreuen starb der königliche Zweifler am ptolemäischen Weltsystem zum Lohn für seine freimütige Kritik in der Verbannung zu Sevilla.

Der erste, der nicht nur die Fähigkeiten, sondern auch den Mut besaß, dieses durch die Sanktion vieler Jahrhunderte geheiligte und durch die Vorurteile der Zeit gestützte Lehrgebäude umzustoßen, war ein überaus bescheidener deutscher Arzt geistlichen Standes, der am 19. Februar 1473 zu Thorn geborene Frauenburger Domherr Nikolaus Kopernik. Dreiundzwanzig Jahre hat er meist in stiller Zurückgezogenheit geforscht, bis endlich die Überzeugung von der Bewegung der Erde um die Sonne bei ihm durchgedrungen war. Durch diese überaus folgenschwere Neuerung fielen sofort die meisten Hilfskreise, die das ptolemäische Weltsystem erfordert hatte, vollkommen weg.

Bei der Annahme, daß die Erde mit den übrigen Planeten um die Sonne als stillstehendes Zentrum kreise, ließen sich alle die beobach-

teten Bewegungen ebensogut wie in dem bisher gültigen ptolemäischen System darstellen, und zudem kam man mit einer viel geringeren Zahl von Hilfskreisen aus. Ganz wesentlich vereinfachend wirkte besonders die Lehre von der Achsendrehung der Erde; denn dadurch wurde der Umschwung der gewaltigen Fixsternsphäre in einem Tage, der zugleich alle Planeten durch einen unbekannten Übertragungsmechanismus mitriß, wiederum durch eine einzige höchst einfache Ursache erklärt. Jedenfalls konnte kein Zweifel mehr bestehen, daß der Erdkörper an Ausdehnung bedeutend kleiner war als die Fixsternsphäre; deshalb schien es auch von vornherein wahrscheinlicher, daß die Erde, deren Kugelgestalt nunmehr außer allem Zweifel stand, und nicht der Fixsternhimmel mit allen seinen Planeten sich in einem Tage um sich selber drehe.

Aber von den übrigen Annahmen des ptolemäischen Weltsystems konnte auch der große Kopernikus nicht loskommen, trotz der revolutionären Ideen, die er einführte und die er lange Jahre bis an sein am 24. Mai 1543 erfolgtes Lebensende aus Scheu vor der mächtigen Kirche, die noch später einen Galilei ob seiner gotteslästerlichen Aussage, daß sich die Erde um die Sonne bewege, einkerkerte, für sich zurückbehielt. Eben weil auch er die Ursachen aller dieser Bewegungen noch nicht zu erkennen vermochte, blieb ihm nichts anderes übrig, als einen festen, uhrwerkartigen Bewegungsmechanismus anzunehmen, in welchem nur vollkommene Kreisbewegungen vorkamen.

Wenn nun auch Kopernikus noch zu mancherlei Hilfskreisen greifen mußte, um die ungleichförmige Geschwindigkeit in der scheinbaren Bewegung der Sonne, im Laufe des Mondes und der Wandelsterne durch seine Theorie darzustellen, so war doch durch ihn die Bahn eröffnet, auf der die Astronomie ihrem Ziele, der Entdeckung der wahren Gesetze der Bewegung, zuschreiten konnte. Indem die Erde nicht im Mittelpunkte der Welt ruhte, sondern um die Sonne lief, hatte man das Mittel, von verschiedenen Punkten des Raumes denselben Planeten in identischen Stellungen seiner Bahn zu beobachten und so, ähnlich wie ein Geometer die Lage eines unzugänglichen Gegenstandes durch Standlinien und Winkelmessung ermittelt, seinen Ort zur Sonne und damit auch seine Bahn zu bestimmen. Wurde diese Messung bei den verschiedensten Stellungen des Planeten wiederholt, so mußte sich aus der Verbindung der einzelnen Punkte mit Sicherheit die wahre Gestalt seiner Bahn ableiten lassen.

Es war wiederum ein Deutscher, der am 27. Dezember 1571 zu Weil der Stadt in Württemberg geborene Astronom Johannes Kepler,

der diesen Vorteil der kopernikanischen Lehre sofort erfaßte und in scharfsinnigster Weise zu verwerten verstand. Der Däne Tycho Brahe hatte nämlich auf seiner berühmten Sternwarte Uranienborg auf der kleinen Sundinsel Hven ein außerordentlich reichhaltiges Material von Beobachtungen über die Bewegungen der Sonne und der Planeten gesammelt, dessen Genauigkeit alles weit übertraf, was bis dahin geleistet worden war. Besonders ausgezeichnet durch ihre Genauigkeit und ihre symmetrische Verteilung waren seine Aufzeichnungen der Stellungen des Mars, eines Planeten, der zugleich durch die starke Exzentrizität seiner Bahn am ehesten eine Abweichung von der Kreisform zu erkennen geben mußte.

An ihm begann nun der zähe Schwabe seine Untersuchungen. Nach langen und mühsamen Rechnungen, die uns ein bewunderswürdiges Beispiel der Tiefe und Gründlichkeit sind, welche alle Arbeiten dieses großen Mannes kennzeichnen, fand er endlich heraus, daß die Gestalt der Marsbahn, und wie spätere Untersuchungen ihn lehrten, auch die Bahnen aller übrigen Planeten nicht kreisförmig, sondern vielmehr elliptisch ist. Diese Entdeckung bildet den Inhalt des sogenannten ersten Keplerschen Gesetzes, welches in seiner allgemeinen Fassung lautet: Die Planeten bewegen sich in Ellipsen um die Sonne, die in deren einem Brennpunkte steht.

Noch vor der Auffindung dieses außerordentlich wichtigen und für die Astronomie grundlegenden Gesetzes war Kepler, durch dieselben tychonischen Beobachtungen bereits von der Unzulässigkeit der Annahme gleichförmiger Bewegungen überzeugt, zur Kenntnis eines andern Gesetzes gelangt, welches den Ort der Himmelskörper in ihren Bahnen mit der Zeit in Verbindung setzt und als das zweite Keplersche Gesetz bezeichnet wird. Dasselbe heißt: Die Zeit, welche ein Planet gebraucht, um einen Bogen seiner Bahn zu durchlaufen, ist dem Raume proportional, welcher von dem Bogen und den von der Sonne nach dessen beiden Endpunkten gezogenen geraden Linien eingeschlossen sind.

Beide Entdeckungen wurden in seinem 1609 zu Prag erschienenen lateinischen Werke betitelt: „Die Neue Astronomie über die Bewegungen des Sternes Mars" veröffentlicht, in dessen Zueignung an Rudolf II. Kepler den in die Fesseln der Rechnung geschlagenen Planeten dem deutschen Kaiser mit folgenden denkwürdigen Worten überreicht: „Die Astronomen wußten diesen Kriegsgott nicht zu überwältigen, aber der vortreffliche Heerführer Tycho hat in zwanzigjährigen Nachtwachen seine

Kriegslisten erforscht, und ich umging mit Hilfe des Laufs der Mutter Erde alle seine Krümmungen.“

Zum besseren Verständnis dieser beiden Gesetze sei bemerkt, daß die Ellipse, wie der Kreis, zur Gattung der Kegelschnitte gehört. Wird ein Kegel senkrecht zu seiner Achse durchschnitten, so nennen wir die dabei entstehende Figur einen Kreis, schneidet aber die Schnittebene diese Achse in einem Winkel, so entsteht eine Ellipse, die eine um so gedehntere Gestalt annimmt, je schräger die Schnittebene zur Kegelachse steht, bis schließlich, wenn der Schnitt parallel zu einer Seitenfläche des Kegels geführt wird, eine Parabel entsteht. Ist aber der Schnitt noch steiler, d. h. in einem mehr oder weniger spitzen Winkel zum Kegelmantel geführt, so entsteht eine Hyperbel.

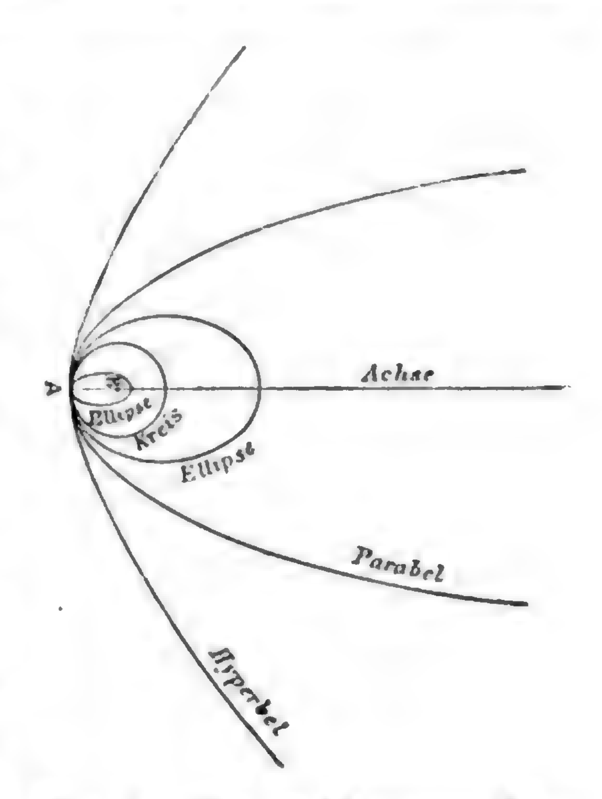


Fig. 2. Die verschiedenen Kegelschnitte; A ist die eine Apside und B der Brennpunkt.

Denkt man sich nun in einer endlichen Entfernung von der Sonne einen Körper in Ruhe, dem man in einem gegebenen Momente senkrecht zu seiner Verbindungslinie mit der Sonne einen Stoß erteilt und damit ihn in eine gewisse Geschwindigkeit versetzt, so wird derselbe unter dem Einflusse der Sonnenanziehung und des Stoßes beginnen, um erstere eine Bahn zu beschreiben, welche einen solchen Kegelschnitt darstellt, dessen Gestalt lediglich von der anfänglichen Entfernung des bewegten Körpers von der Sonne und der ihm erteilten Geschwindigkeit abhängt und entweder ein Kreis oder eine Ellipse, eine Hyperbel oder eine Parabel sein kann.

Die Planeten bewegen sich nun alle in Ellipsen, wobei der Abstand eines Brennpunktes vom Mittelpunkt die Exzentrizität genannt und im astronomischen Gebrauche stets im Verhältnis zur halben großen Achse ausgedrückt wird. Je kleiner die Exzentrizität ist, um so geringer ist die Abweichung der Elipse von der Kreisform, je größer dieselbe um so gestreckter wird die Ellipse, um so näher kommt sie der Parabel, deren Excentrizität der Einheit gleich ist. Bei der Hyperbel aber ist

die Exzentrizität stets größer als eins. Wie wir später sehen werden, bewegen sich die Kometen fast immer in Parabeln um die Sonne. Diese parabolische Bahn der Kometen kann jedoch in gewissen Fällen durch die Anziehung der Sonne oder eines der großen Planeten, worunter hauptsächlich Jupiter gehört, dem man deshalb auch den Namen eines „Kometenmörders“ gegeben hat, zu geschlossenen Ellipsen werden. Äußerst selten sind die Kometenbahnen Hyperbeln und setzen dann eine ungemein große Geschwindigkeit der Bewegung durch den Raum voraus.

Nach dem ersten Keplerschen Gesetz sind nun die von den Planeten beschriebenen Bahnen Ellipsen, welche, so verschieden auch sonst ihre Größenverhältnisse sein mögen, ein Gemeinschaftliches haben, nämlich einen Brennpunkt, in dem die Sonne steht. Der diesem Brennpunkt nähere Endpunkt der großen Achse der elliptischen Bahn wird das Perihelium oder die Sonnennähe, der entferntere dagegen das Aphelium oder die Sonnenferne genannt. Beide heißen die Apsiden und deren Verbindungslinie die Apsidenlinie. In der Sonnennähe ist der Planet nicht nur der Sonne am nächsten, sondern bewegt sich auch, wie das zweite Keplersche Gesetz es ausspricht, entsprechend schneller um sie als in der Sonnenferne. In gleicher Weise wie die Planeten um die Sonne, kreisen auch die Monde in elliptischen Bahnen um die Planeten, und zwar mit entsprechend beschleunigter Bewegung in der Planetennähe und Verlangsamung in der Planetenferne. Bei unserm Monde bezeichnet man die Erdnähe als Perigäum und die Erdferne als Apogäum.

Mit der Entdeckung der beiden Keplerschen Gesetze war nun ein sehr wesentlicher Fortschritt in der Erkenntnis der Planetenbewegungen vor sich gegangen. Aber die Lebensaufgabe Keplers war damit noch nicht erfüllt. Durchdrungen vom pythagoräischen Glauben an die harmonische Einrichtung des Weltalls, der ihm bei jenen Entdeckungen schon vorgeschwebt und seinen durch widrige äußere Lebensschicksale oft gebeugten Mut immer wieder von neuem aufgerichtet hatte, ahnte er, daß es außer den beiden Gesetzen, die jedem Planeten seine besondere Bahn und Bewegung um das Zentralgestirn vorschreiben, noch ein drittes Gesetz geben müsse, welches die Geschwindigkeiten der einzelnen Planeten in eine Abhängigkeit von ihren Entfernungen von der Sonne setzt und dadurch die getrennten Körper mit einem gemeinsamen Bande umgibt.

Und in der Tat, seine Vermutung betrog ihn nicht. Am 15. Mai 1618 fand er das dritte Gesetz der planetarischen Be-

wegungen, welches sich in den Worten ausspricht: Die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten verhalten sich wie die Kuben oder Würfel ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne. Was man im Altertum ganz unbestimmt vermutet hatte, was durch das sogenannte kopernikanische Weltsystem zur Gewißheit erhoben worden war, daß nämlich der entferntere Planet längere Zeit zu einem Umlauf um die Sonne als der sonnennähere gebraucht, fand durch dieses Gesetz seinen klaren, zahlenmäßigen Ausdruck. Man kann daraus die mittlere Entfernung eines Planeten oder die halbe große Achse seiner Bahn in Teilen der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne berechnen, wenn nur seine Umlaufszeit bekannt ist; umgekehrt aber auch diese aus jener.

Durch diese drei Gesetze, welche an Keplers unsterblichen Namen geknüpft sind, wurde das kopernikanische Weltsystem für immer von seinen letzten willkürlichen Annahmen befreit. Aber sogleich trat die neue Frage auf, was denn eigentlich die verbindende Ursache dieser Gesetze und besonders der durch sie ausgedrückten geheimnisvollen Zahlenverhältnisse sei. Es war aber Kepler versagt, dieses oberste Gesetz, gleichsam die Grundharmonie, die in allen Bewegungen der Himmelskörper wiederklingt, zu ergründen. Obwohl er bei seinen tiefsinnigen Erwägungen demselben mehrmals nahe gekommen ist, wurde er doch immer wieder durch die irrigen Vorstellungen, welche über die Beziehungen zwischen den Bewegungen und den sie erzeugenden Kräften zu seiner Zeit herrschten, von der Wahrheit, der er so nahe stand, abgelenkt.

Erst nachdem durch den am 18. Februar 1564 zu Pisa geborenen und seit 1610 als Professor der Mathematik in Florenz wirkenden genialen Galileo Galilei die Pendel- und Fallgesetze entdeckt worden waren und man infolge davon mit den Überlieferungen der alten aristotelischen Physik vollständig brach, nachdem man überhaupt erkannt hatte, daß nicht die Fortdauer einer Bewegung, wie man bis dahin allgemein geglaubt hatte, sondern die Entstehung einer neuen oder die Veränderung einer schon bestandenen Bewegung die Wirkung einer Kraft anzeigt, war der Weg geebnet, um dieser Frage mit Erfolg näher treten zu können.

Die Lösung, welche sie in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts durch den genialen, am 5. Januar 1643 zu Woolsthorpe in Lincolnshire geborenen, von 1669 als Professor der Mathematik in Cambridge, von 1699 an königlicher Münzmeister und von 1703 an bis zu seinem am

31. März 1727 erfolgten Tode als Präsident der Royal Society in London wirkenden Isaak Newton fand, ist eine der großartigsten Leistungen, welche die an solchen durchaus nicht arme Geschichte der Astronomie bis auf den heutigen Tag zu verzeichnen hat.

Wenn man einer freilich viel bestrittenen Erzählung Glauben schenken darf, so wurde Newton durch ein höchst unscheinbares Ereignis auf den Gedanken eines einzigen, im ganzen Universum gültigen Anziehungsgesetzes, von dem die irdische Schwere nur eine spezielle Äußerung ist, geführt. Als er im Jahre 1676 von Cambridge, einer verheerenden Seuche wegen, in sein Heimatsdorf geflohen war und dort im elterlichen Garten einsam unter einem Baume saß, soll der Fall eines Apfels sein Nachdenken über die Ursache des Fallens aller freigelassenen Körper erregt und ihn zur Untersuchung veranlaßt haben, weshalb denn der Mond nicht auf die Erde fällt. Wie dem auch sein mag, ob Wahrheit oder Dichtung, soviel steht fest, daß Newton um jene Zeit sich in Betrachtungen über die Bewegungen der Körper auf der Erde und im Himmelsraum erging. In dem freien Fall an der Erdoberfläche hatte man die Wirkung einer Kraft kennen gelernt, welcher alle Körper in gleicher Weise gehorchten. Galilei hatte durch theoretische Untersuchungen und auf experimentellem Wege gezeigt, daß jeder Körper, mochte er groß oder klein, schwer oder leicht sein, wofern man nur vom Widerstande der Luft absieht, in der Richtung nach dem Mittelpunkt der Erde gleich schnell fällt, daß die Geschwindigkeit, welche er nach einer gewissen Zeit erlangt hat, dieser selbst und der durchlaufene Raum dem Quadrate der Zeit proportional ist.

Es würde uns zu weit führen, Newtons Gedankengang im einzelnen zu verfolgen. Es genüge hier zu bemerken, daß er die Intensität der experimentell bestimmten Schwerkraft an der Erdoberfläche mit der Größe der Kraft, die erforderlich ist, um den Mond in seiner Bahn um die Erde zu erhalten, verglich und schließlich im Jahre 1682 herausfand, daß der Mond in der Tat so gut wie der vom Baume fallende Apfel dem Gesetze der irdischen Schwere gehorcht, durch sie überhaupt in seiner Bahn gehalten wird. Wie aber der Mond schwer ist gegen die Erde oder gegen sie gravitiert, so gravitieren auch die Erde und die übrigen Planeten gegen die Sonne, allgemein die Satelliten gegen ihre Hauptkörper. Und umgekehrt müssen nach dem Prinzipe, daß, wenn ein Körper eine Wirkung wie Zug oder Druck auf einen andern ausübt, der letztere stets eine gleiche aber entgegengesetzte Wirkung auf den ersteren ausübt, die Satelliten auf die Planeten und die Planeten

ihrerseits anziehend auf die Sonne wirken. Die anziehende Kraft kann aber keine dem Körper nur als Ganzem zukommende Eigenschaft sein, da sie an jedem Teilchen, welches von ihm abgetrennt ist, beobachtet werden kann; sie muß vielmehr allen einzelnen materiellen Partikelchen, aus deren vereinigter Wirkung der Gesamteffekt hervorgeht, innewohnen.

Dieses durch das ganze Universum gültige Newtonsche Anziehungs- oder Gravitationsgesetz, in welchem der Schlüssel zu allen Bewegungen im gesamten Himmelsraume liegt, lautet: Jeder materielle Körper zieht jeden andern mit einer Kraft an, welche direkt proportional ist seiner Maße d. h. Menge seiner Materie und umgekehrt proportional dem Quadrate der gegenseitigen Entfernung.

Es verallgemeinert nicht nur die Keplerschen Gesetze, sondern es korrigiert sie zugleich auch aufs allerfeinste, indem die genaueren Beobachtungen zeigen, daß die Bahnen der Planeten nicht genau Ellipsen sind, daß die Radienvektoren nicht genau in gleichen Zeiten gleiche Flächen beschreiben, daß das Verhältnis der Quadrate der Umlaufszeiten zu den Kuben oder Würfeln ihrer mittleren Entfernungen nur annähernd für alle Planeten dasselbe ist. Auch dies ergibt sich mit Naturnotwendigkeit aus dem Gesetze der allgemeinen Anziehung.

Jeder Planet ist der Anziehung der Sonne, jeder Satellit aber der seines Hauptkörpers unterworfen. Außerdem aber üben alle übrigen Körper des Systems — die Fixsterne kommen ja wegen ihrer ungeheuren Entfernung überhaupt nicht in Betracht — ihre anziehende Wirkung aus. Vermöge der eigentümlichen Beschaffenheit des Sonnensystems, besonders der überwiegenden Masse der Sonne und des Verhältnisses der gegenseitigen Entfernungen sind aber die letzteren Wirkungen im Vergleich zu denjenigen des Hauptkörpers klein, und der allgemeine Charakter der Bewegung bleibt daher der gleiche, als ob sie nur die Folge einer Zentralkraft sei.

Die Wirkungen der übrigen Körper erscheinen somit mehr als modifizierende oder störende, und in diesem Sinne bezeichnet man die Abweichungen von der Bewegung, welche der Körper unter dem alleinigen Einfluß seines Hauptkörpers annehmen würde, als Störungen. Die Ermittelung der Störungen des Laufes eines Wandelsterns, in der allgemeinsten Fassung berühmt unter dem Namen des Dreikörperproblems, gehört zu den schwierigsten, aber auch wegen der großen Bedeutung, welche die scharfe Vorausberechnung des Standes der Wandelsterne und namentlich des Mondes am Himmel für viele praktische

Interessen, besonders für die Schiffahrt hat, dankenswertesten Aufgaben der Astronomie, der seit den Zeiten Newtons die hervorragendsten Astronomen und Mathematiker ihre besten Kräfte geliehen haben.

Diese Störungen kann man im allgemeinen in zwei Gruppen teilen, deren eine alle Abweichungen umfaßt, welche von dem jeweiligen Orte des gestörten und der störenden Körper unabhängig sind und nur auf die Lage und Form der Bahnen Bezug haben, während die Störungen der anderen Gruppe durch den zeitlichen Stand der Körper zueinander bedingt werden. Die ersteren Änderungen sind an sich sehr bedeutend, haben aber einen langsamen Verlauf und werden daher als säkulare Störungen bezeichnet. Die Störungen der zweiten Gattung wiederholen sich in kleineren Zeitabständen periodisch und sind meist nur von geringem Betrage.

Will man sich nun ein Bild von dem wahren Laufe eines Planeten machen, so muß man ihn in einer Ellipse um die Sonne laufend sich vorstellen, deren Elemente durch die beständigen Änderungen in der Stärke der Anziehung durch die verschieden großen und mit verschiedener Geschwindigkeit in den verschiedensten Abständen in demselben System sich bewegenden andern Planeten und deren Satelliten gegeben sind, die sich stetig langsam ändern, so daß beständige Abweichungen in der Bahn vorkommen und kein Umlauf sich wie der andere gestaltet. Die stärksten störenden Wirkungen in unserm Sonnensystem gehen von den beiden größten Planeten Jupiter und Saturn aus, die nicht nur die größten Massen besitzen, sondern auch eine mittlere Stellung darin einnehmen. Wir werden dann im dritten Abschnitte bei der Entdeckung des Planeten Neptun sehen, welche Triumphe der Menschengeist aus der Nutzanwendung des Newtonschen Gravitationsgesetzes hat ziehen können. Aber diese Triumphe hat er nicht bloß in unserm Sonnensystem gefeiert, er feiert sie täglich, indem er damit alle Körper und deren Bewegungen durch das gesamte Weltall abschätzen und messen kann.

Um nun alle Entfernungen, sei es in unserm Sonnensystem, sei es in den Tiefen der Fixsternwelt, soweit dieselben unserer Erkenntnis überhaupt zugänglich sind, zu messen, mußte man als Grundmaß vor allem die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne oder die halbe große Achse der Erdbahn genau kennen. Und diese überaus wichtige Größe ist auf verschiedene Arten, auf die wir nicht näher eingehen wollen, heute dahin bestimmt worden, daß wir dieses Grundmaß der Astronomie = 148 640 000 km setzen können.

Diese für unser verhältnismäßig kleines Sonnensystem genügende

Maßeinheit erwies sich aber als viel zu winzig, als man begann, auch die Abstände der Fixsternwelt zu messen. Da mußte man einen ganz andern Maßstab zugrunde legen, um die ungeheuren Himmelsweiten, mit denen man es hier zu tun hat, zu messen und ihre gewaltigen Entfernungen unserem Verständnisse auch nur einigermaßen nahe zu bringen. Die beste Handhabe dazu bot das Licht, das ja für uns die einzige direkte Verbindungsbrücke zu den Sternen bildet. So ungreifbar und scheinbar unsicher dieses mit unfaßbarer Geschwindigkeit durch den Raum dahineilende Etwas sein mag, so wissen wir heute doch mit aller Bestimmtheit, daß damit eine wirkliche materielle Verbindung mit den Sternen hergestellt wird. Nicht in dem Sinne, wie man früher glaubte und wie noch der große Newton geglaubt hatte, daß sich von dem leuchtenden Körper unendlich kleine materielle Teilchen loslösten, um in gerader Linie mit unfaßbarer Schnelligkeit durch den Raum zu eilen und, auf die Netzhaut unseres Auges treffend, darin eine Lichterscheinung hervorzurufen, sondern wie Newtons großer Rivale, der am 14. April 1629 im Haag geborene und am 8. Juli 1695 dort verstorbene Physiker Christian Huygens zuerst nachwies, dadurch, daß der leuchtende Körper die Atome des unwägbar feinen, das ganze Weltall erfüllenden Äthers in Schwingungen versetzt, die sich durch wirkliche materielle Übertragung dem nächsten Atome mitteilen, während das erstere in seine Ruhelage zurückkehrt oder, wenn der betreffende Körper weiterleuchtet, immerfort neue Impulse gleicher Art empfängt. Das Licht ist also kein Stoff, sondern eine Bewegung, die sich geradlienig durch Ätherschwingungen fortpflanzt, die in beliebigen Richtungen, aber immer senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung erfolgen.

Diese von Huygens zuerst aufgestellte Undulations- oder Wellentheorie des Lichtes wurde dann von dem am 15. April 1707 in Basel geborenen und am 7. September 1783 in St. Petersburg, wo er den größten Teil seines Lebens zubrachte, verstorbenen Leonhard Euler weiter ausgebaut. Dieser geniale Mathematiker, der schon den höchst beachtenswerten Versuch wagte, alle Naturkräfte auf eine allgemeine Ursache, den Äther, zurückzuführen, wies nach, daß das Licht im allgemeinen nicht aus einer einzigen Art von Schwingungen besteht, sondern aus Schwingungen von sehr verschiedener Schwingungsdauer beziehungsweise Wellenlänge zusammengesetzt ist. Alle diese verschiedenen Schwingungsarten, welche vereinigt den Eindruck des weißen oder beim Fehlen einer oder mehrerer Schwingungsarten den Eindruck eines mehr oder weniger trübweißen Lichtes machen, geben zu Wellenbewegungen

Veranlassung, welche sich in homogenen d. h. gleichartigen Mitteln nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen.

Das von einem leuchtenden Körper ausgesandte Licht wird daher in allen Punkten eines homogenen Mittels von derselben Farbe sein, weil an jeder Stelle sämtliche Schwingungsarten, zu denen der leuchtende Körper Veranlassung gibt, vereinigt auftreten. Beim Übergang aus dem einen in ein anderes homogenes Mittel von verschiedener Dichtigkeit erleiden aber die verschiedenen Schwingungsarten eine Änderung ihrer Fortpflanzungsrichtung, was wiederum eine Änderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit d. h. eine Brechung zur Folge hat. Würde sich nun die Fortpflanzungsgeschwindigkeit beim Übergang in das neue Mittel bei allen Schwingungsarten um die gleiche Größe ändern, so würden diese auch im neuen Mittel vereinigt bleiben und daher weißes Licht hervorbringen. Ist aber diese Änderung bei verschiedenen Schwingungsarten verschieden, so wird sich auch die Fortpflanzungsrichtung derselben ungleich ändern und um so mehr von der ursprünglichen Richtung abweichen, je schneller die Schwingungen erfolgen. Da nun dieses letztere tatsächlich der Fall ist, so trennen sich die im einfallenden Lichtstrahl vereinigt gewesenen Farben, und es entsteht ein Farbenband, das wir als Spektrum bezeichnen.

Erst Fresnel hat am Anfange des vergangenen Jahrhunderts nachgewiesen, daß die Ätherschwingungen des Lichts senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung erfolgen, und zwar beim gewöhnlichen Lichte nach allen Richtungen, beim polarisierten Lichte dagegen stets nur in einer Ebene. Durch die Arbeiten von Maxwell, Heinrich Hertz und anderer am Ausgang des letzten Jahrhunderts ist dann entdeckt worden, daß die Lichtstrahlen mit den Strahlen elektrischer Kraft wesensgleich sind und sich von ihnen nur durch verschiedene Größe der Wellenlängen unterscheiden. Was schon Huygens nachzuweisen versucht hatte, das ist in unserer Zeit glänzend in Erfüllung gegangen, indem es neuerdings glückte, alle Naturkräfte auf ein einheitliches Prinzip zurückzuführen, ja sogar wahrscheinlich zu machen, daß auch die Gravitation auf nichts anderem als auf Ätherwellen beruht, die von vorläufig unmeßbarer Feinheit von Körper zu Körper schwingen.

Elektrizität, Wärme, Licht sind alle Äußerungen ein und derselben Kraft, d. h. sie sind hervorgerufen durch transversale Schwingungen eines alle Himmelsräume erfüllenden, vollkommen elastischen, aber unwägbar feinen, Äther genannten Stoffes, die sich alle mit derselben Geschwindigkeit, nur mit

verschiedenen Wellenlängen durch den Raum bewegen. Die elektrischen Wellen sind die größten und schwanken zwischen 6000 km und 2,5 mm. Durch gewaltig große, viele Zentner schwere Prismen aus Paraffin, Schwefel und Pech hat man sie seit einigen wenigen Jahren, wie das Licht durch Prismen von Glas zerlegen und analysieren können. Nach ihnen kommen mit abnehmender Wellengröße die Wärmestrahlen, die bei etwa 0,05 mm Wellenlänge beginnen und durch Prismen von Paraffin zerlegt werden. Sie sind noch so lang, daß sie selbst nicht mehr durch Substanzen wie Flußspat und Steinsalz hindurchgehen. Durch diese gehen nur die allerkleinsten Wellen, nämlich diejenigen, welche uns als Licht erscheinen, und zwar empfinden wir sie auf der Netzhaut unseres Auges als Rot, wenn sie die Wellenlänge von 0,0007 mm und die Schwingungszahl von etwa 400 Billionen (mit 12 Nullen) in der Sekunde erreicht haben. Erfolgen die Schwingungen noch schneller und sind die Wellenlängen noch kleiner, so erzeugen sie in uns die Reihenfolge der Farben Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Das grüne Licht hat eine Wellenlänge von 0,0005 mm und eine Schwingungszahl von etwa 565 Billionen Schwingungen in der Sekunde, das violette dagegen eine Länge von 0,0004 mm und etwa 750 Billionen Schwingungen in der Sekunde. Noch kleinere und schnellere Schwingungen, welche unser Auge zwar nicht mehr, wohl aber die photographische Platte und die Augen gewisser Tiere wie der Ameisen noch wahrzunehmen vermögen, bezeichnet man als ultraviolette Strahlen. Strahlen jedoch, welche länger als 0,0007 mm sind, empfindet unser Auge auch nicht mehr als Rot, weshalb man diese als infrarote Strahlen bezeichnet.

Das Auge aber, das vorzüglichste und wichtigste Instrument für die Himmelsbeobachtung, empfindet nicht nur die trägsten Ätherbewegungen als rotes, wie die schnellsten als violettes Licht und analysiert dabei automatisch, wie schnell die Schwingungen vor sich gehen, sondern es erkennt auch, ob das Licht intensiv ist, d. h. ob sehr viele Wellenbewegungen gleichzeitig von derselben Richtung her auf die Netzhaut aufschlagen. Der Nervenreiz des Lichtes wird erst ausgelöst, wenn eine gewisse minimale Anzahl jener Bewegungsimpulse ein und dasselbe Sehzäpfchen unserer Netzhaut treffen. Da nun die das Licht in das Auge hineinlassende Pupille ganz klein ist, hat man zum Auffangen einer größeren Zahl von Schwingungen lichtsammelnde Apparate, die Fernrohre, erfunden, welche zur Unterstützung der lichtanalysierenden Arbeit des Auges die aus den Himmelstiefen zu uns gelangenden

schwachen Lichteindrücke so verstärken sollen, daß wir um so leichter und sicherer eine von anderen Welten zu uns gelangende Botschaft entziffern können. Wo aber das Auge zu schwach ist, um die uns gesandte Depesche zu lesen, da tritt die überaus lichtempfindliche photographische Platte in die Lücke und läßt uns noch Dinge deutlich erkennen, welche jenes selbst durch die stärksten Licht sammelnden Fernrohre nicht mehr wahrzunehmen vermöchte.

Zu diesen ganz wesentlichen Verbesserungen der astronomischen Beobachtungskunst trat dann gleichzeitig auch als die wichtigste von allen die Spektralanalyse, die wir den deutschen Forschern Bunsen und Kirchhoff in Heidelberg verdanken. Diese ermöglicht es uns, mit der größtmöglichen Sicherheit die stoffliche Beschaffenheit einer Lichtquelle zu ergründen. Zerlegen wir nämlich durch ein Glasprisma oder besser noch durch ein Lichtgitter einen Lichtstrahl in seine Bestandteile, so können wir zunächst aus dem dabei entstehenden Spektrum ersehen, ob die Lichtquelle ein fester oder flüssiger Körper ist, in welchem Falle dasselbe ununterbrochen erscheint, oder gasförmig ist, wenn es durch dunkle Zwischenräume getrennte Linien oder Streifen aufweist. Dabei hat jedes Element seine besonderen, nur ihm eigentümlichen Linien, an denen es stets wieder mit aller Sicherheit als solches zu erkennen ist, wenn es auch nur in Verdünnungen bis zu einigen Hundertmillionstel vorhanden sein sollte.

So besteht das Spektrum des Natriumdampfes, das man in einfachster Weise dadurch erzeugt, daß man Kochsalz, d. i. eine Verbindung von Chlor mit Natrium, auf den Docht einer Alkoholflamme bringt, aus einer hellen gelben Linie, die, bei stärkerer Vergrößerung betrachtet, in zwei feine Linien zerfällt. Das in Dampfform übergeführte Lithium dagegen zeigt zwei charakteristische Linien, eine sehr glänzende rote und eine etwas mattere gelblich-rote. Im Spektrum des Kaliums erblickt man drei, nämlich zwei im Rot, deren eine sehr schwach ist, und eine dritte im Violett. Die Spektren anderer Gase sind komplizierter und können, wie beispielsweise Eisen, Kobalt, Nickel usw., durch einen großen Reichtum von verschieden gefärbten Linien ausgezeichnet sein. In allen Fällen geben aber die Linien

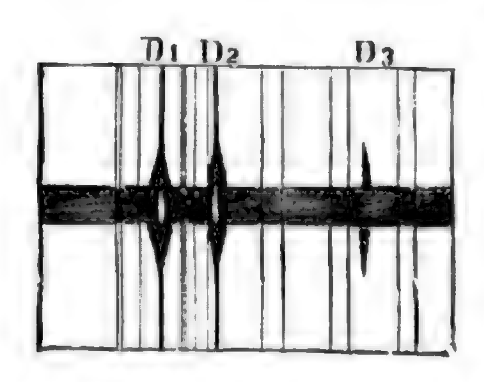


Fig. 3. Umkehrung der dunkeln Absorptionslinien des Natriums D_1 und D_2 im Spektrum eines Sonnenflecks bei starker Vergrößerung. D_3 eine Heliumslinie.

durch ihre Farbe, ihre gegenseitige Lage und Abschattierung untrügliche Merkmale für das Vorhandensein des betreffenden Körpers in der Lichtquelle, in der sie sich zeigen.

Läßt man nun durch eine Flamme, in welcher ein gewisses Element oder eine Mischung von solchen glüht, das Licht eines intensiv glühenden festen oder flüssigen Körpers hindurchgehen, so erhält man in dem kontinuierlichen Spektrum des letzteren die hellen Linien plötzlich in dunkle verwandelt. Nun zeigt das Sonnenspektrum eine sehr große Zahl solcher dunkler Linien in seinem kontinuierlichen Spektrum. Daraus können wir mit Sicherheit schließen, daß auf der Sonne ein intensiv glühender fester oder flüssiger Körper sein Licht durch eine weniger stark glühende Schicht von Gasen schickt, in welcher diejenigen Strahlen, welche mit den von den glühenden Gasen selbst ausgesandten übereinstimmen, verschluckt und ausgelöscht werden, und zwar um so stärker, je größer die Intensität der letzteren ist.

Aus diesen dunkeln, sogenannten Frauenhoferschen oder Absorptionslinien des Sonnenspektrums können wir also ebensogut, als wenn wir Teile derselben in unsere Laboratorien nehmen könnten, die Beschaffenheit der glühenden Gasatmosphäre der Sonne und alle in ihr vorkommenden Elemente studieren. Das gleiche können wir an den Fixsternen, an Kometen, an Nebelflecken usw. vornehmen und auf deren Beschaffenheit und Zusammensetzung die wichtigsten Schlüsse ziehen. Auf welchen Himmelskörper wir auch das Spektroskop richten mögen, um ihn wissenschaftlich in Bezug auf seine Bestandteile zu analysieren, überall durch das ganze Weltall treten uns dieselben Stoffe, die wir auf unserer Erde haben, entgegen, wie wir allüberall dieselbe Kraft der Anziehung, wie sie in unserem Sonnensystem herrscht, wirken sehen.

Ja, noch mehr als dies enthüllt uns das Wunderinstrument Spektroskop, es zeigt uns mit größter Deutlichkeit sogar die Geschwindigkeit an, mit welcher die Licht aussendenden Körper sich auf uns zu oder von uns weg bewegen. Das hierbei wirkende Gesetz ist das von Doppler im Jahre 1840 am Schall entdeckte Prinzip, das aber gleicherweise auch für das Licht Geltung hat und das wir uns am besten durch folgendes einfache Beispiel klar machen. Vergleichen wir den Pfiff einer schnell sich von uns entfernenden oder einer auf uns zukommenden Lokomotive mit einer ruhenden, so werden wir finden, daß deren Töne im ersteren Falle durch eine raschere Aufeinanderfolge der Schallwellen etwas höher, in letzterem Falle durch eine langsamere Aufeinanderfolge derselben etwas tiefer als bei der ruhenden Lokomotive sind.

Denselben Vorgang beobachten wir beim Lichte, indem sich das Spektrum der auf uns zukommenden Sterne um etwas Weniges gegen das violette Ende, dasjenige der sich entfernenden jedoch gegen das rote Ende hin verschiebt. Das kontinuierliche Farbenband wird durch jene Verschiebung an sich nicht geändert; denn verschiebt sich beispielsweise sein ursprünglich roter Teil nach dem Violett hin, so wird das Rot sofort durch vorher unsichtbare, infrarote Strahlen ersetzt, die nun durch die rasche Bewegung der Lichtquelle auf uns zu genügende Wellenlänge erhalten haben, um auf unserer Netzhaut den Eindruck von Rot hervorzubringen. Dafür wird aber auf der andern Seite des Spektrums eine entsprechende Zahl noch sichtbarer, violetter Strahlen in für uns unsichtbare ultraviolette verwandelt. Das Aussehen und die Ausdehnung des Spektrums an sich wird also durch die Bewegung der Lichtquelle nicht verändert. Dagegen werden die im Spektrum vorkommenden dunkeln oder hellen Linien gegen ihre ursprüngliche Lage verschoben, da die erhöhte oder verminderte Schwingungszahl für diese Lage allein maßgebend ist. Vergleicht man nun beispielsweise die Lage der Natriumlinien eines Sternes mit denjenigen eines daneben gehaltenen ruhenden Natriumspektrums, so kann man aus der Abweichung dieser Linien ganz genau die Größe der Bewegung des betreffenden leuchtenden Körpers in der Richtung auf uns zu oder von uns weg, keineswegs jedoch eine seitlich davon verlaufende Bewegung, bestimmen. Da man nun in neuerer Zeit mittels sogenannter Rowlandscher Gitter das Spektralband in früher ungeahnter Weise auseinander zu ziehen gelernt hat, so daß beispielsweise das Sonnenspektrum mit seinen Tausenden von Linien von Rot beginnend allein bis in das Grüne hinein eine Ausdehnung von 11 m erhält, so vermag man in dieser Weise noch Sternbewegungen bis zu 1 km in der Sekunde in der Gesichtslinie festzustellen.

Endlich hat man auch die Geschwindigkeit des Lichts zu messen vermocht und dabei mit voller Sicherheit gefunden, daß sich alle Lichtarten, wie auch die Wärme- und die elektrischen Strahlen mit derselben sehr großen Geschwindigkeit von rund 300000 km in der Sekunde geradlinig durch den Raum fortbewegen. Wir werden im folgenden Abschnitt bei der Erwähnung der Verfinsterungen der Jupitermonde sehen, auf welche Weise man schon in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts diese ungemein rasche Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts entdeckt hat. Hier genüge es zu bemerken, daß man diese in neuerer Zeit mehrfach auch durch verschiedene überaus sinnreiche Methoden an irdischen Lichtquellen bestimmt hat.

Dies hat beispielsweise Fizeau in Paris in den Jahren 1849 und 50 durch sehr schnelle Drehung eines Zahnrades ermittelt, durch dessen Lücken ein Lichtstrahl auf einem bestimmten, viele Kilometer langen Wege zwischen Spiegeln hin und wieder zu jenem Zahnrade zurückgeschickt wurde. Bei einer gewissen Weglänge kam der Lichtstrahl gerade dann zum Rade zurück, wenn der der Lücke folgende Zahn ihm den Weg versperrte, so daß er von dem hinter dem Rade befindlichen Auge nicht mehr gesehen werden konnte. Verdoppelte man die Weglänge, die der Lichtstrahl zurückzulegen hatte, oder die Geschwindigkeit des Rades, so wurde der Strahl wieder sichtbar, weil er jetzt durch die nächste Lücke hindurchschlüpfen konnte, und so fort. Dabei wendete man Licht von den verschiedensten Farben an, ohne irgendwelchen Unterschied in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu entdecken. Während Fizeau auf eine Entfernung von 8633 m operiert und eine Geschwindigkeit von 313274 km in der Sekunde erhalten hatte, erhielt Cornu in den Jahren 1873 und 74 in mehr als 1000 Bestimmungen auf 10310 m Distanz mit der gleichen, aber bedeutend verfeinerten Methode den Betrag von 299950 km in der Sekunde. Neuerdings hat Perrotin in Nizza im Jahre 1901 in 1480 Messungen auf 12 km Entfernung eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 299900 km in der Sekunde festgestellt. Nach der von Foucault im Jahre 1849 zuerst angewandten Methode hat Newcomb in den achziger Jahren des vorigen Jahrhunderts einen ähnlichen Wert von 299860 km gefunden. Da die diesbezüglichen Versuche mit immer feineren Mitteln vorgenommen werden, kann man also mit großer Sicherheit für die Geschwindigkeit des Lichtes den Mittelwert von 300000 km in der Sekunde annehmen, wie schon die ersten Forscher, welche diese Größe zu bestimmen versuchten, annähernd gefunden haben.

Gegenüber der Lichtgeschwindigkeit verschwinden alle andern Geschwindigkeiten, die wir etwa zum Vergleiche heranziehen könnten. Die Grenzgeschwindigkeit des springenden Menschen ist im besten Falle noch nicht 10 m in der Sekunde, auf dem Zweirad dagegen im Maximum 20 m in der Sekunde. Ein Schnellzug fährt mit etwa 16 m in der Sekunde; eine weit höhere Geschwindigkeit hat man mit der elektrischen Schnellbahn Marienfelde—Zossen im Jahre 1903 erreicht, nämlich bis 56 m in der Sekunde. Will man noch schneller fahren, so muß man schon im Luftballon mit dem Sturmwinde segeln, dann geht es aber auf Leben und Tod! Geschwindigkeiten von 80 m in der Sekunde und mehr sind zuweilen an den Zugvögeln nachgewiesen worden. An

den furchtbare Verheerungen anrichtenden Wirbelstürmen Nordamerikas sind Geschwindigkeiten bis zu 150 m in der Sekunde beobachtet worden.

Noch schneller bewegen sich an den Grenzen der Atmosphäre in etwa 80 bis 100 km Höhe die aus feinster Vulkanasche bestehenden sogenannten leuchtenden Wolken, welche bis zu 0,308 km in der Sekunde zurücklegen. Daran schließt sich die Geschwindigkeit des Schalles mit 0,333 km in der Sekunde an, die immer noch eine Million mal geringer als diejenige des Lichtes ist. Die Geschwindigkeit des Schalles ist merkwürdigerweise dieselbe wie die Anfangsgeschwindigkeit der Geschosse einiger Geschütze, während andere Geschosse aus modernen Gewehren und Kanonen bis zu 0,5, 0,6 ja sogar 0,7 km in der Sekunde erreichen. Theoretisch soll die Geschwindigkeit der Geschosse bis zu 1,2 km in der Sekunde gesteigert werden können. Damit haben wir dann die Anfangsgeschwindigkeit der Explosionen jener höheren Klasse von Sprengstoffen, wie Nitroglyzerin und anderer, erreicht, an denen Geschwindigkeiten von 1 bis 8 km in der Sekunde gemessen wurden.

Gleich mit der Geschoßgeschwindigkeit beginnend und fast bis zur doppelten Explosionsgeschwindigkeit hinaufgehend, finden wir dann die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen von einigen 100 m bis zu 13 km in der Sekunde. Hiermit sind wir dann aber schon mitten in der Geschwindigkeit der Körper im Weltenraum. So bewegt sich die Erde mit einer mittleren Geschwindigkeit von 29,7 km in der Sekunde um die Sonne, und Meteore, die als Sternschnuppen mit ihrer eigenen Geschwindigkeit plus der Geschwindigkeit der Erde durch die obersten Schichten der Atmosphäre, derer Bewegung entgegen, durch sie hindurchsausen, können Schnelligkeiten bis 76 ja 80 km in der Sekunde erreichen. Am raschesten von allen Planeten läuft der sonnennächste, Merkur, mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 47 km in der Sekunde, noch ein Mehrfaches davon schneller eilen viele Sonnen um ihr Gravitationszentrum, die bis 360 km in der Sekunde, ja einmal, der betr. Stern heißt Arkturus, ausnahmsweise 450 km in der Sekunde zurücklegen. Noch schneller bewegen sich der Sonne äußerst nahe kommende Kometen in ihrer Sonnennähe; so hatte derjenige vom Jahre 1863 im Perihel eine Geschwindigkeit von 593,6 km in der Sekunde. Die allergrößte körperliche Geschwindigkeit erreichen endlich die Explosionen von glühenden Gasen an der Sonnenoberfläche, die wir als Protuberanzen kennen lernen werden, die mit 842 km in der Sekunde in den Raum hinausgeschleudert werden. Setzen wir aber auch als Grenze der größten möglichen Körpergeschwindigkeit 1000 km in der Sekunde, so ist doch

die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Ätherwellen als Licht, Wärme oder Elektrizität noch 300mal größer als diese!

Nach dieser kurzen geschichtlichen Einleitung, die zum besseren Verständnisse des Folgenden durchaus nötig war, können wir nun mit geschärften Sinnen unsere Wanderungen durch die Himmelsräume antreten; denn bevor wir uns mit der Erde, die doch nur ein winziges Mitglied unseres Sonnensystems ist, eingehend befassen können, müssen wir nach dem Leben im Weltall Umschau halten und uns über die Ausdehnung und Beschaffenheit des Kosmos, wie über die Größe und Bewegungen der einzelnen darin still ihre Bahnen ziehenden Sonnen und Sonnensysteme einigermaßen orientieren.

II.

Die Sternenwelt.

Wir alle wissen heute, daß die unermeßlich gewaltige Zahl von Lichtpunkten, die wir im Gegensatz zu den Wandelsternen oder Planeten als Fixsterne bezeichnen, alle große selbstleuchtende Sonnen sind, die teilweise einen noch viel größeren Umfang als unsere durchaus nicht kleine Sonne besitzen. Nur durch die ganz unfaßbar weite Entfernung, in der sie von uns abstehen, erscheinen sie so winzig klein, daß auch das schärfste Auge die große Mehrzahl derselben überhaupt nicht mehr zu sehen vermag. Während das unbewaffnete menschliche Sehorgan deren im besten Fall nur etwa 5000 zu erkennen vermag, so lassen die großen Fernrohre, wie sie namentlich die reichen Nordamerikaner an verschiedenen durch besonders klare Luft ausgezeichneten Punkten ihres Landes in neuerer Zeit haben aufstellen lassen, ihrer über 100 Millionen erkennen. Und auch diese große Zahl erschöpft noch lange nicht die wirklich vorhandene Menge der Sonnen, die für unsere Erkenntnis einfach unfaßbar ist. Dabei ist zu bedenken, daß zwischen diesen ungezählten Hunderten von Millionen leuchtender Sonnen vermutlich ein Vielfaches dieser Zahl bereits erloschene mehr oder weniger erkalteter und daher für unsere Sinne nur ganz ausnahmsweise wahrnehmbare dunkle Sonnen sich gleicherweise durch den Raum bewegen.

Nach ihrer scheinbaren Helligkeit teilen wir die Sterne in verschiedene Größenklassen ein, welche aber natürlich in keinerlei Beziehungen zu ihrer wirklichen Größe stehen, da die hellsten nicht auch immer die nächsten von uns sind. So gibt es, nach den photometrischen Messungen beurteilt, 19 Sterne erster Größe, 66 zweiter, 185 dritter, 500 vierter, 1200 fünfter, 5000 sechster, 20000 siebenter Größe, und unterhalb dieser steigt ihre Zahl sehr bedeutend, so daß schon bis zur neunten Größe über eine halbe Million und bis zur siebzehnten

Größe, die nur noch die lichtempfindliche photographische Platte bei längerer Exposition durch Summation der äußerst schwachen Lichteindrücke festzuhalten vermag, über 100 Millionen Sterne an der Himmelskugel sichtbar sind. Dabei ist jede folgende Größenklasse etwa zwei Drittel weniger hell als die vorhergehende.

Wären die Sterne ganz gesetzlos und nur zufällig durch den Raum zerstreut, so müßten sie uns ziemlich gleichmäßig über dem Himmel verteilt erscheinen. Schon eine oberflächliche Betrachtung des Himmels zeigt uns indessen, daß ihre Verteilung durchaus keine gleichmäßige ist, sondern daß in manchen Richtungen verhältnismäßig wenige, in andern wieder auffallend viele dicht gedrängt beisammenstehen. Die größte Zahl heller und weniger heller Sterne befindet sich in der Nähe der sogenannten **Milchstraße**, welche sich als matter Streifen von ungleichmäßiger Breite fast in einem größten Kreise über die Himmelskugel zieht. Schon **Aristoteles**, der Lehrer Alexanders des Großen, äußerte die Vermutung, daß die Milchstraße selbst nichts anderes als eine große Anhäufung kleiner Sterne sei. Diese Vermutung hat sich durch die Autorität desjenigen, der sie aussprach, viele Jahrhunderte lang gehalten, bis sie nach Erfindung des Fernrohres bestätigt werden konnte.

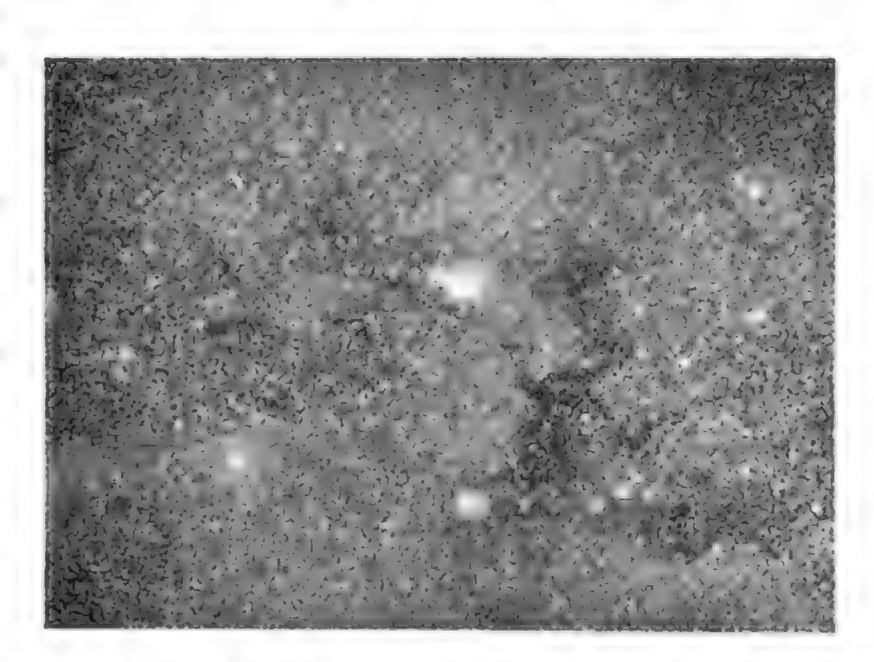


Fig. 4. Kleiner Ausschnitt der Milchstraße im Sternbilde des Einhorns mit einigen Nebeln, nach einer von E. **Barnard** am Lickobservatorium durch dreißigstündige Exposition gewonnenen photographischen Aufnahme verkleinert.

Bevor man sich irgend welches Urteil über die Gestalt und den Aufbau dieses Milchstraßensystems erlauben konnte, mußte man vor Allem die annähernde Entfernung der nächsten Fixsterne von uns kennen zu lernen trachten. Die Untersuchungen über diese Entfernung fielen je nach der Aufstellung des kopernikanischen Weltsystems mit dem Beweise für die Richtigkeit des letztern zusammen; denn der Nachweis

einer scheinbaren, durch die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne verursachten Bewegung der Fixsterne mußte jeden Einwand gegen die Theorie des Kopernikus über die Bewegung der Erde zunichte machen. Tatsächlich schien kein einziger Vorwand so schlagend zu sein, und auf keinen ist bei der Bekämpfung dieser neuen Weltanschauung, die sich direkt gegen die für unantastbar gehaltene biblische Überlieferung wandte, mehr Gewicht gelegt worden als auf denjenigen, der sich auf die Unbeweglichkeit der Fixsterne gründete. Sobald aber die Richtigkeit der Theorie des Kopernikus, wonach sich die Erde um die Sonne bewegt, als feststehend angesehen wurde, mußte die Größe der scheinbaren jährlichen Bewegungen der Fixsterne zu einer Ableitung ihrer Entfernung von der Sonne führen.

Schon Kopernikus beschäftigte sich mit der Untersuchung der scheinbaren jährlichen Bewegung der Fixsterne, ohne sie indessen wegen ihres geringen Betrages sicher nachweisen zu können. Er mußte sich damit begnügen, den Einwendungen, welche deshalb gegen sein System erhoben werden konnten, entgegenzuhalten, daß die Entfernungen der Fixsterne unermeßlich groß gegenüber der räumlichen Ausdehnung der Erdbahn seien. Erst durch die Erfindung des Fernrohres und seine Verbindung mit höchst genauen astronomischen Meßwerkzeugen gewannen die astronomischen Beobachtungen eine solche Schärfe, daß die Abspiegelung der Erdbewegung an einigen der allernächsten Fixsterne mit einiger Sicherheit nachgewiesen werden konnte. So hat der Engländer Bradley in Wansted bei London in der Mitte des 18. Jahrhunderts die jährliche Verschiebung einiger Fixsterne aus ihrem wahren Orte, welche er mit dem Namen Aberration bezeichnete, zum ersten Male einwandfrei nachweisen können. Dies war an sich schon ein unumstößlicher Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne, und führte in der Folge auch zu einer neuen Methode der Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit, welche recht gute Resultate lieferte. Dagegen gelang es ihm nicht, die von ihm gesuchte Bewegung der Fixsterne, welche von ihrer endlichen Entfernung von der Sonne abhängt, nachzuweisen.

Es sind noch keine sechzig Jahre verflossen, seitdem die ersten sichern Sternparallaxen bestimmt werden konnten. Man versteht darunter nämlich die halbe große Achse der Ellipse, in welcher die Erdbahn von dem Sterne aus erscheinen würde. Es ist dies der Betrag der scheinbaren Verschiebung eines Fixsterns, welche man findet, indem man seine Lage am Himmel von zwei einander gegenüber liegenden Punkten der Erdbahn, die in Wirklichkeit über 300 Millionen km aus-

einanderliegen, bestimmt. Heute kennen wir dank den eingehenden Forschungen der letzten Jahrzehnte die annähernde, eben durch die jährliche Parallaxe bestimmte Entfernung von etwa 100 Sternen. Um diese in Zahlen auszudrücken bedient man sich als Grundmaß des ungeheuren, unser Vorstellungsvermögen überhaupt vollkommen übersteigenden Weges, den das Licht, das sich, wie wir gesehen haben, mit einer Geschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde fortbewegt, in einem Jahre zurücklegt. Diese neue kosmische Maßeinheit bezeichnet man als Lichtjahr; sie umfaßt 365 . 24 . 60 . 60 . 300 000 km = 9460 800 000 000, also fast $9^1/_2$ Billionen km.

Um uns nun einen, wenn auch nur sehr annähernden Begriff von den Entfernungen zu machen, in denen die allernächsten Sterne von uns abstehen, seien folgende Distanzen zum Vergleiche herangezogen: Das Licht würde die Erdkugel, wenn es sich im Kreise bewegen könnte, in einer Sekunde 8 mal umkreisen; um vom 385000 km entfernten Monde zu uns auf die Erde zu gelangen, würde es $1^1/_3$ Sekunde gebrauchen, den 149 Millionen km weiten Weg von der Sonne zur Erde würde es in 8 Minuten $17^4/_5$ Sekunden zurücklegen. Um von der Sonne zum Planeten Merkur zu gelangen, würde es rund 3 Minuten, zu Venus 6 Minuten, zu Mars 13 Minuten, zu Jupiter 43 Minuten, zu Saturn 1 Stunde 19 Minuten, zu Uranus 2 Stunden 38 Minuten, zu Neptun endlich, dem äußersten uns bekannten Planeten unseres Sonnensystems, 4 Stunden 8 Minuten gebrauchen. Um aber von der Sonne oder von irgend einem Punkte unseres Sonnensystems, was ja in diesem Falle ganz gleichbedeutend ist, zum allernächsten Fixsterne, dem Hauptsterne Alpha im Sternbilde des Zentauren, zu gelangen, gebraucht das Licht volle 4,3 Jahre. Von den nächstfolgenden großen Sternen, deren Entfernung wir annähernd kennen, ist Prokyon 10,2, Atair 14,2, Sirius 17, Aldebaran 29,7, Capella 40,8 und Wega 84 Lichtjahre von uns entfernt. Unter den 36 allernächsten Nachbarn unseres Sonnensystems sind aber nur zehn Sterne heller als zweiter Größe, und von ihnen gehören mehrere zu den entferntesten, als welche Capella und Wega zu gelten haben. Alle andern zur nächsten Nachbarschaft unserer Sonne gehörenden Sterne sind vorwiegend schwächere, zum Teil mit bloßem Auge nicht mehr sichtbare Sterne, müssen also in Wirklichkeit klein wie unsere Sonne, ja teilweise noch kleiner sein. Man kann also nicht sagen, daß die hellsten Sterne immer auch die nächsten zu uns hin sein müssen, wie man früher lange Zeit geglaubt hat. So ist der hellste Stern im Sternbild Bootes, Arkturus, 135 Lichtjahre von uns entfernt. Das

ist eine Riesensonne, die trotz ihrer ungeheuren Entfernung so hell scheint, daß man glauben möchte, sie wäre uns ganz nahe. Ihre Oberfläche muß 10000 mal mehr Licht als unsere Sonne ausstrahlen, und da nach Ausweis des Spektroskops die physikalischen Zustände auf beiden Weltkörpern ungefähr dieselben sind, so muß sie entsprechend größer als unsere Sonne sein, die ja schon so groß ist, daß mehr als $1^1/_4$ Millionen Kugeln von der Größe unserer Erde in ihr Platz fänden. Das sind Größen, die unser Gehirn einfach nicht zu fassen vermag.

Noch weiter entfernt als Arkturus und sehr viel größer als unsere Sonne ist Beteigeuze, der Stern erster Größe mit rötlichem Licht, der uns als der nördlichste der hellen Orionsterne erscheint. Seine Entfernung ist neuerdings auf 1400 Billionen km = 150 Lichtjahre bestimmt worden. Da nun unsere Sonne nach allgemeiner Annahme aus einer Entfernung von 35 Billionen km uns kaum noch als Stern erster Größe erschiene, muß der 40 mal so weit entfernte Stern Beteigeuze, falls er gleiche Leuchtkraft wie unsere Sonne pro Flächeneinheit besäße, mehr als den 40 fachen Durchmesser und den 64000 fachen Rauminhalt unserer Sonne haben. Nun ist aber sein rötliches Licht, wie wir alsbald sehen werden, ein Beweis seines bedeutend höheren Alters, d. h. seiner weiter fortgeschrittenen Abkühlung im Vergleich zur Sonne. Er kann also verhältnismäßig nicht so hell als sie sein und muß demnach einen bedeutend größeren Durchmesser als nur einen solchen von 40 mal mehr als unsere Sonne besitzen.

Die Hauptsterne des Sternbildes des großen Bären, die nach den neuesten Untersuchungen nicht nur scheinbar zueinander gehören, sondern mit Ausnahme der beiden äußersten sich nach der gleichen Richtung und mit der gleichen Geschwindigkeit durch den Raum bewegen sollen, sind etwa 200 Lichtjahre oder 1855 Billionen (mit 12 Nullen) km von uns entfernt. In einer solchen Entfernung sänke unsere Sonne zu einem so lichtschwachen Sternchen herab, daß man sie mit bloßem Auge unmöglich mehr sehen könnte. Aber nicht nur von uns, auch untereinander müssen die Sterne so weit auseinander stehen, daß man vermutet, daß das Licht 80 bis 100 Jahre gebraucht, um von einer dieser Riesensonnen zur anderen zu gelangen.

In dieser riesigen Entfernung würde auch Sirius, der weitaus hellste aller Sterne an unserem Firmamente, so winzig erscheinen, daß er sogar für die besten Augen gerade noch an der Grenze der Sichtbarkeit stände. Er ist so nahe bei uns, daß er, soviel wir wissen, überhaupt der viertnächste aller Sterne ist. Seine Leuchtkraft ist für

uns über 5 Millionen mal schwächer als diejenige unserer Sonne. Dies kommt nur von seiner ganz gewaltigen Entfernung, die rund eine Million mal größer ist, als die Sonne von der Erde absteht. Der Lichtstrahl braucht volle 17 Jahre, um von ihm zu uns zu gelangen. Denkt man sich unsere Sonne in die Entfernung des Sirius gerückt, welche Entfernung, die Siriusweite, manche Astronomen als weitere Maßeinheit bei der Ausmessung der Himmelsräume benützen, so müßte sie uns 1 Billion mal schwächer leuchtend als Sirius erscheinen. Sie würde im besten Falle nur $^1/_{60}$ der Helle des Sirius zeigen.

Diese Königin aller Sonnen unseres Fixsternhimmels ist, wie Bessel vor mehr als 50 Jahren schon vermutete, ein Doppelstern, den dann auch der nordamerikanische Optiker Alvan Clark an dem damals gerade vollendeten besten Fernrohre der Welt genau an der berechneten Stelle als ein schwaches Sternchen neben der glänzenden Siriussonne zum ersten Male auch wirklich gesehen hat. Mit der durch die Gravitation bestimmten Himmelswage gemessen, ist Sirius 13,8 mal und sein Begleiter 6,7 mal so schwer als unsere Sonne. Trotzdem der letztere halb so groß ist als der Hauptstern, leuchtet er 5000 mal schwächer als dieser. Beide Sterne kreisen in einer Entfernung von 5565 Millionen km mit einer Umlaufszeit von $49^2/_5$ Jahren um einen gemeinsamen Schwerpunkt. Dabei entfernt sich das Siriussystem von uns mit einer Geschwindigkeit von 46 km in der Sekunde.

Wega, der hellste Stern im Sternbilde der Leyer, ist ebenfalls ein Doppelstern, dessen Komponenten in nur 38 Millionen km voneinander um einen gemeinsamen Schwerpunkt kreisen und sich dabei mit einer Geschwindigkeit von 84 km in der Sekunde uns nähern. Auch diese Sonnen sind unendlich viel größer als die unsrige, die schon von den nächsten Fixsternen aus als ein ganz unbedeutendes Sternchen sechster Größe, also mit scharfen Augen gerade noch sichtbar erschiene. Ein nur in $4^1/_3$ Tag oder 104 Stunden um das gemeinsame Zentrum kreisender Doppelstern ist o im Perseus, der uns als ein Sternchen vierter Größe erscheint, in Wirklichkeit aber aus zwei gewaltigen Sonnen besteht, die in einem Abstand von nur etwa 8 Millionen km mit einer mittleren Geschwindigkeit von 125 km in der Sekunde um einander kreisen.

Die meisten der für uns sichtbaren Sterne, die zum größten Teil viele hundert, ja tausend und mehr Lichtjahre von uns entfernt sind, scheinen in einem linsenförmigen Raum, deren Mittelpunkt die Sonne und die zahlreichen uns näheren Sterne nahestehen, in der Weise ver-

teilt zu sein, daß nach außen zu die Anhäufung von Sternen zunimmt. Die Kante dieser spiralig verlaufenden Sternanhäufung sehen wir von unserer zentralen Stellung aus eben als Milchstraße um den Himmel verlaufen. Innerhalb dieses Milchstraßensystems, das eine ungeheuer große mehrarmige Spirale darzustellen scheint, deren Durchmesser man auf etwa 7000 Lichtjahre schätzt, sind die Sterne meist um einzelne Bewegungszentren gruppiert. So ist es höchst wahrscheinlich, daß alle uns näheren, mit bloßem Auge sichtbaren Sterne eine gemeinsame Drehung um ein bestimmtes Zentrum machen. Dabei scheinen viele Sterne auf uns loszueilen, ebenso viele aber sich von uns mit sehr verschiedener Geschwindigkeit zu entfernen. So entfernt sich, wie wir bereits gesehen haben, Sirius mit 46 km Geschwindigkeit in der Sekunde von uns. In gleicher Weise entfernen sich Aldebaran mit 49 km, Capella mit 25 km, Wega mit 30 km, Regulus mit 33 km, Riegel mit 24 km, Beteigeuze mit 14 km und der gewaltige Orionnebel mit 18 km Geschwindigkeit in der Sekunde. Dagegen nähern sich uns Algenib im Perseus mit nur 2,5 km, der hellste Stern der Cassiopeja mit 15 km, Spica mit 16 km, Atair mit 36 km, der Stern Gamma im Sternbild des Kepheus mit 42 km, Pollux mit 70 km, Wega mit 84 km, Nr. 1830 des Sternkatalogs von Grombridge mit 280 km und Arkturus gar mit 450 km in der Sekunde. Da immer nur die Komponente in der Richtung nach der Erde gemessen werden kann, so können indessen die wirklichen Geschwindigkeiten erheblich von den hier angeführten Zahlen abweichen, da die wirkliche Bewegungsrichtung eine andere, und zwar schwer festzustellende ist.

Bei der außerordentlich raschen Bewegung von 84 km in der Sekunde würde beispielsweise Wega, die nur 1 Million mal weiter als die Sonne von uns entfernt ist, zur Zurücklegung des Weges zu uns über 80000 Jahre, die meisten anderen Sterne aber ein Vielfaches dieser Zahl gebrauchen. Und trotz dieses mit kosmischer Geschwindigkeit vor sich gehenden Auseinanderfahrens der Sterne nach allen Richtungen ändern sie für uns kaum merklich ihre Stelle am Himmel. Die Sterngruppierungen, die wir als Sternbilder bezeichnen, sind für uns im wesentlichen noch ganz dieselben, wie sie den alten Griechen erschienen. Solch unfaßbar weite Entfernungen trennen die Sterne von uns, daß sie trotz ihrer raschen Bewegungen uns vollkommen unbeweglich stets an derselben Stelle zu verharren scheinen.

So bewegt sich ein Stern siebenter Größe Nr. 1830 mit der außerordentlichen Geschwindigkeit von 280 km in der Sekunde durch den

Raum und legt dabei in einem Jahre mehr als die zehnfache Wegeslänge unserer Erde um die Sonne zurück, da er aber etwa 163070 Trillionen (mit 18 Nullen) km von uns entfernt ist, kommt er für uns trotzdem scheinbar nicht von der Stelle.

Allerdings haben im allgemeinen die großen Sterne eine größere Eigenbewegung als die kleinen, und bei gleicher Größe haben die Doppelsterne eine größere als die einfachen Sterne. Die mittlere Geschwindigkeit der 280 auf der berühmten Licksternwarte in Kalifornien daraufhin untersuchten Sterne beträgt 34,1 km in der Sekunde. Ihr gegenüber ist die Eigenbewegung unseres Sonnensystems eine sehr unbedeutende. Zuerst hatte H. Vogel in Potsdam durch messende Beobachtung der Spektren von 51 Fixsternen diese auf 18,6 km in der Sekunde bestimmt. Neuere Ausmessungen an 280 Fixsternspektren durch W. Campbell in Nordamerika haben diesen Betrag auf 19,9 km erhöht. Wir können also sagen, daß unser Sonnensystem, von dem die Erde nur ein kleiner Teil ist, sich mit einer Geschwindigkeit von rund 20 km in der Sekunde durch den Himmelsraum gegen einen Punkt im Sternbild des Herkules bewegt, der nur verhältnismäßig wenig südlicher liegt als derjenige, den schon Wilhelm Herschel im Jahre 1783 angegeben hatte, weil in dieser Richtung der Himmelsraum sich scheinbar zu öffnen und die Sterne, wie die Bäume einer Allee, in die man rasch eintritt, auseinander zu weichen, auf der dieser entgegengesetzten Seite aber sich zu nähern scheinen.

Trotz dieser geringen Geschwindigkeit eilt unser Sonnensystem mit allen ihren Trabanten 1 1/3 Millionen km im Tage oder 622 1/2 Millionen km im Jahre durch den Raum dahin. Wir befinden uns jetzt in einem Teil des Weltraums, der um rund 1 Billion (mit 12 Nullen) km von demjenigen entfernt ist, in welchem das Sonnensystem zur Zeit Christi war, und trotz dieser unfaßbar gewaltigen Lageveränderung hat sich unsere Stellung im Milchstraßensystem nicht für uns nachweisbar verändert. Wenn auch das Weltall von endlicher Größe sein muß, so ist doch diese Endlichkeit für uns geradezu unendlich.

Neben den einfachen Sternen gibt es am Himmel eine Menge Doppelsterne, das heißt solche, die nicht nur scheinbar nebeneinander stehen, sondern wirklich in engem Zusammenhang zueinander stehen. Solcher umeinander und dabei um einen gemeinsamen Schwerpunkt sich drehender Doppelsterne kennen wir heute schon etwa 11000. Von einem Teile derselben sind auch Größe und Bewegung auf spektroskopischem Wege bestimmt worden. Meist sind beide Sonnen leuchtend

und werden dadurch eben als Doppelsonnen von uns erkannt. Nur in den seltenen Fällen, in welchen der Begleiter groß genug und sehr nahe beim Hauptstern ist, sich zudem genau in der Verbindungslinie zwischen ihm und uns hindurch bewegt, können wir von ihm, wenn er schon erloschen ist, Kenntnis bekommen. Sonst bleiben uns die zahllosen Sterne, die von dunkeln Begleitern umkreist werden, aus naheliegenden Gründen völlig verborgen.

Ein merkwürdiges Doppelsternsystem ist der durch spektroskopische Untersuchungen auf der Potsdamer Sternwarte genau erkundete äußere Gürtelstern Delta des Orion, der sich in jeder Sekunde 23 km von uns entfernt. Die Gesamtmasse der beiden Körper, die wahrscheinlich wenig voneinander verschieden sind, mag das Fünf- bis Zehnfache der Sonnenmasse betragen. In 5³/₄ Tagen bewegen sie sich in einer Ellipse, deren halbe große Achse in der Projektion auf der Gesichtslinie 7906600 km beträgt, um den gemeinsamen Schwerpunkt.

Noch merkwürdiger ist das Sternsystem des Kastor, der schon im Jahre 1718 im Fernrohr als Doppelstern erkannt wurde. Nun hat Belopolski im Jahre 1896 durch das Spektroskop festgestellt, daß der hellere Stern und sein weniger heller Begleiter, die in einem Abstand von 1³/₄ Millionen km um einen gemeinsamen Schwerpunkt gravitieren, je von einem andern, nur ganz schwach leuchtenden Sterne mit einer Umlaufszeit von drei, beziehungsweise neun Tagen umkreist werden. Dabei bewegen sich die beiden Sternpaare, um welche die kleineren Sonnen in drei und neun Tagen kreisen, etwa durch den hundertfachen Abstand von Sonne und Erde getrennt, in 3¹/₂ Jahrhunderten um einen gemeinsamen Schwerpunkt. Außerdem aber umkreist ein weit entfernter heller Stern zehnter Größe in einigen Jahrtausenden, dem Kastor folgend, den Hauptschwerpunkt des ganzen Systems.

Ein ähnlich kompliziertes Sonnensystem ist der uns allen wohlbekannte Polarstern. Er besteht aus einem aus drei großen Weltkörpern gebildeten System, das wohl wie alle übrigen Sonnen seine Planeten, Monde und übrigen Trabanten in Form von Kometen und Meteorringen besitzt. Der Polarstern zeigt in der Richtung auf die Erde zu eine veränderliche Geschwindigkeit, die einem viertägigen Wechsel unterworfen ist. Einmal nähert er sich uns mit einer Geschwindigkeit von 8 km in der Sekunde, aber innerhalb zweier Tage steigt diese Geschwindigkeit auf 14 km und nimmt dann in den beiden folgenden Tagen wieder bis auf 8 km ab. Hieraus darf mit Bestimmt-

heit gefolgert werden, daß der Stern einen unsichtbaren Begleiter besitzt, mit dem er sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt bewegt; aber beide Sterne stehen so nahe beieinander, daß sie das Auge nicht getrennt zu erblicken vermag. Nun aber erfährt die Bewegung dieses Doppelgestirns eine zweite, sehr langsam im Laufe von vielen Jahren vor sich gehende Änderung, welche auf das Vorhandensein eines dritten Weltkörpers schließen läßt. Die diesbezüglichen Rechnungen haben ergeben, daß der Polarstern mit seinem optisch nicht von ihm zu trennenden Begleiter in etwa 15 Jahren einen dritten Weltkörper mit einer Geschwindigkeit von etwa 6 km in der Sekunde umkreist, wonach der Durchmesser dieser Bahn mindestens dreimal so groß als der Durchmesser der Erdbahn sein, d. h. etwa 68 Millionen km messen muß. Dabei nähert sich das ganze System mit einer periodisch zwischen 11½ und 20 km per Sekunde schwankenden Geschwindigkeit.

Ein ähnliches, noch etwas zusammengesetzteres Sonnensystem birgt sich hinter dem mittleren der drei hellen Sterne, die den Schwanz des großen Bären bilden. Mizar nannten ihn die Araber, und unmittelbar über ihm steht ein ganz winziges Sternchen, das nur ein sehr scharfes Auge wahrnimmt, und das sie deshalb zur Prüfung der Sehschärfe benützten und Alkor, d. h. Prüfer nannten. Außer diesem Alkor hat aber Mizar noch einen dritten Begleiter vierter Größe bei sich, der sich mit ihm in gleicher Richtung und Geschwindigkeit durch den Raum bewegt. Neuerdings ist zudem auf der Harvardsternwarte in Amerika durch Pickering nachgewiesen worden, daß Mizar selbst ein optisch nicht zu trennender Doppelstern ist und daß die beiden ihn zusammensetzenden Sterne, deren Gewicht etwa das Vierfache der Sonnenmasse beträgt, in einer elliptischen Bahn von 70 Millionen km Länge in 20½ Tagen umeinander kreisen. Es besteht also der unserem unbewaffneten Auge als einfacher Stern zweiter Größe erscheinende Mizar aus zwei, nicht viel weiter, als Merkur von der Sonne absteht, voneinander entfernten und in 20½ Tagen um den gemeinsamen Schwerpunkt sich bewegenden leuchtenden Sternen, um welche in sehr viel größerer Entfernung eine dritte Sonne mit einer Umlaufszeit von einigen Jahrtausenden sich bewegt. Noch sehr viel weiter entfernt umkreist dann als vierter Begleiter Alkor den Hauptstern mit einer Umlaufszeit von mehr als 100 000 Jahren.

Viel einfacher, aber nicht minder interessant sind die Verhältnisse bei dem im Jahre 1878 als Doppelstern entdeckten Stern 85 im Pegasus. Bei ihm ist merkwürdigerweise nach den eingehenden Unter-

suchungen von Comstock nicht der hellstrahlende Stern, sondern der mehr als 174mal schwächer leuchtende Begleiter der Hauptstern. Während ersterer nur 1/3 der Masse des Gesamtsystems besitzt, ist die Masse des letzteren 2/3 des Ganzen. Es muß also der sehr viel größere, schwächer leuchtende Stern mit seinem rötlichen Lichte in einem sehr viel weiter fortgeschrittenen Zustande der Abkühlung sein als der kleine, aber hellstrahlende gelbe Gesellschafter. Beide Sterne besitzen 11 1/4mal so viel Masse als unsere Sonne, der hellere ist demnach 3 1/2, der dunkle dagegen 7mal so schwer als unser Zentralgestirn. Dabei umkreist ersterer den letzteren in einer Entfernung von nur etwa 3000 Millionen km, was etwa 21mal die Entfernung der Erde von der Sonne ausmacht.

Im Sternbilde des Füllens liegt in nächster Nachbarschaft des Herkules, gegen den wir uns mit allen Mitgliedern unseres Sonnensystems hinbewegen, der Stern vierter Größe Delta Equulei, neben dem schon Wilhelm Herschel mit seinem von ihm konstruierten Riesenreflektor ein schon mit mäßig großen Fernrohren sichtbares Sternchen zehnter Größe feststellte. Nun hat man beide Sterne lange für zusammengehörend angesehen. Doch ist dies tatsächlich nicht der Fall, sie scheinen es nur optisch d. h. für den Anblick von der Erde aus zu sein. Und doch hat das Spektroskop festgestellt, daß der Stern Delta Equulei ein Doppelstern ist, indem er aus zwei Sternen 4 1/2 und fünfter Größe besteht, die so nahe beieinander liegen, daß sie nur unter den günstigsten Umständen getrennt sichtbar werden. Dabei umkreist der lichtschwächere Stern den lichtstärkeren in fünf bis sieben Jahren einmal in einer sehr exzentrischen Bahn, deren Mittel 6000 Millionen km beträgt, aber einerseits auf 3000 Millionen km herabgehen, andererseits aber auf 9000 Millionen km hinaufgehen kann. Das Gewicht der beiden Sterne ist zusammen 1,89, also fast doppelt so groß als das unserer Sonne. Dabei sind sie etwa 452 Billionen km von uns entfernt, eine Strecke, zu deren Zurücklegung der Lichtstrahl fast 50 Jahre bedarf.

Das Licht der Sterne, die diese einfachen, doppelten und mehrfachen Systeme zusammensetzen, ist nicht immer rein weiß. Je heißer die betreffende glühende Sonne ist, um so kräftiger tritt der blaue und violette Teil des Spektrums mit der größten Zahl der Lichtschwingungen in der Zeiteinheit hervor. So wissen wir, daß die bläulich weißen Sterne die heißesten und am stärksten leuchtenden sind. Sie haben alle eine außerordentlich mächtige Atmosphäre mit den leichtesten Elementen, nämlich Wasserstoff und Helium, deren charakteristische Linien in

ihrem Spektrum hervortreten. Und zwar scheinen die Heliumsterne noch heißer als die Wasserstoffsterne zu sein. Zu ihnen gehören beispielsweise Sirius, Regulus, Wega und Algol.

Weniger heiß sind die gelben Sterne, bei welchen die äußerste Schicht der glühenden leichtesten Gase sehr viel weniger mächtig ist. Dafür erscheint bei ihnen die Schicht der schwereren, unter hohem Drucke stehenden Gase, die das kontinuierliche Spektrum erzeugen, besser ausgeprägt. Besonders treten die Metallinien stark in den Vordergrund, so daß in ihrem gegen das violette Ende zu abgeschwächten Spektrum schon teilweise eine durch Absorption der betreffenden Strahlen in kühleren äußeren Schichten erfolgende Bänderung entsteht. Zu ihnen gehören außer unserer Sonne und der mit ihr in allen Teilen vollkommen übereinstimmenden Capella, dem hellsten Sterne im Sternbilde des Fuhrmanns, Pollux, Procyon, wie auch Arkturus und Aldebaran. Diese letzteren sind allerdings schon weniger heiß, stellen also ein noch späteres Stadium der Sonnenentwicklung dar.

Noch mehr abgekühlt sind die roten Sterne, in denen besonders der Wasserstoff an Bedeutung weiter zurücktritt. Dafür treten bei ihnen die Metallinien um so stärker hervor, unter welchen diejenigen des Eisens die weitaus vorherrschenden sind. Überall sehen wir, daß dieses Schwermetall den größten Anteil am Aufbau der Welten nimmt und in allen kosmischen Massen vorwiegt. In ihrem sich gegen den violetten Teil immer mehr verdunkelnden Spektrum treten die Metalllinien immer ausgesprochener in Form von Bändern auf, als Beweis dafür, daß um den glühenden Kern sich eine weniger stark leuchtende Hülle von schweren Gasen gelegt hat, deren Hitze so weit gesunken ist, daß chemische Verbindungen darin existieren können. Es sind dies hauptsächlich Verbindungen des Sauerstoffs, die wir Oxyde nennen.

Solche Oxydationsbänder im Spektrum sehen wir schon in den Flecken, d. h. den besonders stark abgekühlten Partien unserer Sonne, auftreten. Diese schon bei den gelben Sonnen vorübergehend auftretenden weniger heißen Verdichtungsherde treten bei den roten in so großer Zahl auf, daß sie bei ihnen als ausgedehnte Fleckenregionen die Oberfläche vollkommen zu beherrschen scheinen. Dadurch entstehen Sonnen, die ihre Leuchtkraft in mehr oder weniger regelmäßigen Perioden verändern. Den Anfang dazu hat bereits unsere Sonne gemacht, indem sie bekanntlich, wie Schwabe im Jahre 1843 zuerst nachgewiesen hat, in elfjährigen Perioden von gehäuft auftretenden Flecken ganz leicht verdunkelt wird und so periodisch an Strahlungsenergie einbüßt, was

wir auf der Erde ganz deutlich an der Witterung zu verspüren bekommen. Dieses allmähliche Ineinanderübergehen von rein weißen zu bläulichen, dann zu gelben und schließlich zu roten Sternen beweist, daß alle Gestirne mit der Zeit eine Einbuße an Strahlungsenergie durch zunehmende Abkühlung erleiden. Allerdings sind dazu unerfaßlich lange Zeiträume nicht von Billionen und Trillionen von Jahren, sondern von einem Vielfachen derselben erforderlich. Und da es nicht nur rote, sondern auch zahlreiche erloschene Sonnen gibt, so muß die Gesamtheit der Sternenwelt, das Weltall, eine dementsprechend lange Dauer besitzen, die für uns eine Ewigkeit bedeutet.

Und wie sie ewig war, so wird sie auch ewig sein. Die es zusammensetzenden Sterne machen beständig einen Verwandlungsprozeß durch. Sie sind jung und altern, sie entstehen und vergehen in ewigem Wechsel. Ihren Werdegang können wir ganz genau am Himmel verfolgen. Wie in einem Walde neben alten Bäumen auch junge stehen, woraus wir ohne weiteres schließen können, daß aus diesen durch allmähliches Wachstum, das wir gar nicht selbst zu beobachten brauchen, jene hervorgehen, so können wir das gleiche auch bei den Sternen annehmen. Oftmals entstehen sie ganz plötzlich als sogenannte neue Sterne, mit denen wir uns alsbald werden zu beschäftigen haben, leuchten dann sehr lange als bläulich-weiße, dann als gelbe und zuletzt als rote Sterne, aus denen schließlich für uns unsichtbare dunkle Sterne hervorgehen, deren Vorhandensein wir nur indirekt merken. Die Zahl der letzteren muß eine sehr große sein, ja es muß tatsächlich mehr dunkle als leuchtende geben. Aber da sie dunkel geworden sind und kein Licht mehr ausstrahlen, so verraten sie uns ihre Gegenwart nur in den allerseltensten Ausnahmefällen.

Der erste Fall, in welchem sich uns eine dunkle Sonne am Himmel verriet, war Algol, der zweitgrößte Stern im Sternbild des Perseus, auf dessen regelmäßige Veränderung der Leuchtkraft schon der italienische Astronom Montanari im Jahre 1667 aufmerksam machte. Dieser merkwürdige Stern ist der Typus einer gewissen Art veränderlicher Sterne, deren regelmäßige Lichteinbuße durch zeitweilige Verdunkelung durch einen zwischen ihn und unser Auge tretenden dunkeln Begleiter erfolgt. Fast genau $2^1/_2$ Tage leuchtet er als ein Stern zweiter Größe, dann beginnt sein Glanz erst ganz langsam, später immer schneller abzunehmen, bis er nach $4^1/_2$ Stunden um anderthalb Größenklassen dunkler geworden ist. Von da an nimmt seine Helligkeit langsam zu, bis sie nach abermals $4^1/_2$ Stunden wieder die volle Höhe erreicht hat. Diese

dauert $2\frac{1}{2}$ Tage und dann tritt aufs neue eine vorübergehende Abschwächung seines Lichtes ein. Dieser Wechsel erfolgt absolut regelmäßig und kann nur von einem großen dunkeln Begleiter herrühren, der nahe an ihm vorübergeht und ihn uns immer wieder teilweise verdeckt. Eingehende spektroskopische Untersuchungen von H. C. Vogel und Scheiner auf dem astrophysikalischen Observatorium zu Potsdam haben ergeben, daß Algol vor Eintritt der Lichtabnahme sich 39,3 km in der Sekunde von uns entfernt, nach derselben aber 46 km sich uns nähert. Demnach beschreibt der Stern mit seinem dunkeln Begleiter während einer Lichtwechselperiode eine geschlossene Bahn um den gemeinsamen Schwerpunkt. Nehmen wir an, diese Bahn sei nahezu kreisförmig und liege ungefähr in der Gesichtslinie zur Erde, so läßt sich, gestützt auf die allgemeine Gravitation die wahre Größe und gegenseitige Entfernung der beiden Sonnen, der schon dunkeln und der leuchtenden, berechnen. Die diesbezüglichen, zweimal sehr sorgfältig ausgeführten Rechnungen ergaben, daß Algol einen Durchmesser von 1707000 km, sein dunkler Begleiter dagegen einen solchen von 1336000 km besitzen muß, daß das Gewicht des Algol etwa $\frac{4}{9}$ der Sonnenmasse, dasjenige seines dunkeln Begleiters aber $\frac{2}{9}$ der Masse unserer Sonne betragen wird, und daß ihre Mittelpunkte 5194000 km voneinander entfernt sein werden. Algol bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 42 km, sein Begleiter dagegen mit einer solchen von 88 km in der Sekunde in seiner Bahn. Beide Sterne sind von ganz gewaltigen Atmosphären umgeben, von denen die des Algol sehr stark mit bläulichem Lichte glüht, während sein Begleiter noch etwas eigenes Licht besitzt, also noch nicht ganz erloschen ist. Aber seine Helligkeit ist geringer als $\frac{1}{80}$ der Helligkeit des Hauptsterns. Die Umlaufszeit des Trabanten um den Hauptstern beträgt nur 2 Tage 20 Stunden 49 Minuten. Die Durchmesser der beiden Weltkörper sind im Verhältnisse zum Durchmesser ihrer Bahn so ungewöhnlich groß, daß wohl zuletzt der dunkle Begleiter in den Hauptstern stürzen muß, was allerdings für uns noch gute Weile hat.

Wie für Algol, so ist für neun andere veränderliche Sterne das Vorhandensein eines in regelmäßigen Perioden vor dem Hauptstern vorübergehenden dunkeln Begleiters als Ursache der regelmäßig wiederkehrenden Lichtabnahme festgestellt worden. So wird die schöne weißleuchtende Spica, der Hauptstern im Sternbilde der Jungfrau, in 4 Tagen und 0,3 Stunden von einem nicht viel kleineren, mit ihm um ein gemeinsames Zentrum sich bewegenden, dunkeln Begleiter in einer fast kreisförmigen Bahn von 4880000 km Halbmesser in der Weise

umlaufen, daß periodisch für uns eine teilweise Verdeckung des leuchtenden Hauptsternes erfolgt. Die Geschwindigkeit des Hauptsterns in seiner Bahn beträgt 89 km in der Sekunde. Dabei bewegt sich das ganze System um 22 km in der Sekunde von uns hinweg.

Ein weiterer Doppelstern von Algoltypus, d. h. mit einem ihn zeitweise verdeckenden dunklen Begleiter ist der Stern Delta in der Wage. In 56 Stunden wechselt dieser Stern seine Leuchtkraft, die für gewöhnlich fünfter Größe ist, indem er für einige Stunden zu $6^1/_4$ Größe herabsinkt. Diese Lichtabnahme erfolgt durch Verdeckung von $^2/_3$ des Sterns durch einen zufällig vor ihm vorbeigehenden dunkeln Begleiter, der den mit einer Geschwindigkeit von über 100 km sich von uns entfernenden Hauptstern umkreist.

Im Gegensatz zu den veränderlichen Sternen vom Algoltypus stehen diejenigen vom Lyratypus, d. h. mit zwei Lichtschwankungen. Ihr Hauptvertreter, der Stern Beta im Sternbilde der Leyer, ist ein Doppelstern, dessen Hauptsonne 18 mal so groß als unsere Sonne ist und von einem halb so großen dunkeln Begleiter umkreist wird, wobei beide noch einen nahezu kreisförmigen Umschwung um den gemeinsamen Mittelpunkt vollführen, dessen Bahnebene in die Gesichtslinie zur Erde fällt. Infolgedessen verdecken sich die beiden Sterne von uns aus gesehen häufig. Tritt nun der hellere der beiden Sterne hinter den lichtschwächeren, so erscheint uns Beta Lyrae im kleinsten Lichte, im Hauptminimum. Steht er seitlich neben ihm, so tritt das erste Maximum ein. Steht der Hauptstern vor dem ebenfalls leuchtenden Begleiter, so sehen wir das zweite Lichtminimum, das Nebenminimum. Stehen beide Sterne dann wieder nebeneinander, so erzeugen sie das zweite Helligkeitsmaximum. Hernach beginnt die Lichtwechselperiode von neuem, und so geht es ununterbrochen fort.

Im Gegensatz zu diesen Doppelsternen mit regelmäßigem Lichtwechsel steht die große Zahl derjenigen, deren Leuchtkraft sich ganz unregelmäßig verändert. Bei ihnen scheint der Lichtwechsel nur ganz ausnahmsweise durch das Dazwischentreten von teils noch etwas selbstleuchtenden, teils auch dunkeln Begleitern hervorgerufen zu werden; vielmehr entsteht es dadurch, daß sich ihre Oberfläche infolge vorgeschrittener Erkaltung und als Zeichen beginnender Krustenbildung zeitweise mit mehr oder weniger ausgedehnten dunkeln Schollen bedeckt. Diese letzteren haben weder eine feste Lage auf dem erkaltenden Sterne, noch auch eine große Beständigkeit. Sie schwimmen wie die Flecken auf unserer Sonne nach bestimmten Richtungen und lösen sich nach einiger

Zeit wieder teilweise auf. Durch solche unregelmäßig anwachsende und wieder abnehmende dunkle Schollen auf ihrer noch schwach leuchtenden Oberfläche muß natürlich ihr Licht einem ganz unregelmäßigen Wechsel unterworfen sein.

So kennen wir heute schon über 130 solche durch entstehende und teilweise wieder vergehende Krustenbildung veränderliche Sterne, die in langen Perioden von mindestens zwei Monaten bis vielen Jahren ihr Licht unregelmäßig verändern. Der bekannteste Stern dieser Gruppe ist Mira, d. h. der Wunderbare (nämlich Stern), wie ihn schon der Danziger Ratsherr und Astronom Hevel bezeichnet hat. Er liegt im Sternbilde des Walfisches und wurde schon im Jahre 1596, vor Erfindung des Fernrohrs, von dem begeisterten Amateurastronomen Pfarrer David Fabricius in Osteel, der dann später an einem Dezembermorgen des Jahres 1610 mit dem eben erfundenen Fernrohr als erster die Sonnenflecken sah, als solcher entdeckt, wenn auch erst vom Jahre 1639 an durch Holwardas Bemühungen allgemeiner bekannt.

Dieser merkwürdige Stern kann einige Wochen hindurch als beinahe der ersten Klasse zugehörig am Firmamente glänzen, nimmt dann aber zusehends an Leuchtkraft ab und ist siebenzig und einige Tage nach dem Helligkeitsmaximum für das bloße Auge völlig verschwunden. Sieben Monate lang bleibt er uns ganz unsichtbar, in einer Lichtstärke von nur 9,5 Sterngröße. Dann nimmt sein Glanz langsam zu, um schon nach vierzig Tagen die volle Größe zu erreichen.

Dieser periodische Lichtwechsel von rund elf Monaten oder 331 Tagen, der übrigens auch in Bezug auf Intensität und Dauer wesentlichen Schwankungen ausgesetzt ist, so daß die Lichtabnahme oft nur bis zur fünften Größenklasse geht, wird bei Mira zweifellos durch zunehmende Schlackenbildung auf deren nur noch verhältnismäßig schwach leuchtender Oberfläche erzeugt.

Alle diese veränderlichen Sterne von Miratypus sind charakteristischerweise rote, d. h. alternde, dem Erlöschen nahe Sterne, deren schon an den letzten Grenzen der Sichtbarkeit angelangtes Licht zeitweilig ganz auszugehen droht, um sich freilich immer wieder zu erholen. Sie sind darin der vollkommene Gegensatz der jugendlichen, in glänzendem weißen Lichte erstrahlenden Algolsterne, welche von bereits erkalteten und deshalb für uns unsichtbar gewordenen Begleitern zeitweilig verdunkelt werden, und alle zeigen recht beträchtliche Lichtdifferenzen, die durchschnittlich zwischen fünf bis acht Größenklassen schwanken. Das entspricht einem Wechsel der Strahlungsintensität um das 100 bis

150fache von einem zum anderen Zustande. Ihre Periode ist in keinem Falle kleiner als 65 Tage und nur ausnahmsweise größer als 300 Tage, kann aber bis auf zwei und mehr Jahre gehen. Je länger aber die Verdunkelung dauert, um so mehr sind sie dem Erlöschen nahe.

Bei der letzten Entwicklungsstufe der Sonnen, die wir spektroskopisch noch zu verfolgen vermögen, also bei diesen dem Erlöschen nahen dunkelroten Sternen, spielen besonders die Kohlenwasserstoffverbindungen, welche sonst im Weltall, zumal in den unserer Sonne sich nähernden Kometen eine so große Bedeutung besitzen, eine überaus wichtige Rolle. Je mehr diese Sterne erkalten, desto zahlreichere und um so beständigere chemische Verbindungen zeigen sich auf ihnen, bis schließlich ihr Glanz durch die Ausbildung einer zusammenhängenden Kruste ganz erlischt. Solche erloschene Sterne glühen innerlich noch sehr lange fort und senden dabei große Wärmemengen aus, aber mit dem Verschwinden des Lichtes hören sie auf, sich uns bemerklich zu machen. Nur gelegentlich flackern sie aufs neue auf, wenn entweder durch die zunehmende Spannung der sich zusammenziehenden Kruste durch eintretende Risse größere Mengen des glühendflüssigen Innern herausquellen oder aufschlagende feste Körper dergleichen Magmaausbrüche bewirken. Man spricht dann von neuen Sternen und meint damit nur alte, erloschene, aber aufs neue in Erscheinung tretende Sonnen.

Eine der ältesten und imposantesten Erscheinungen eines neuen Sterns, von denen bis zum Jahre 1895 nur 14 bekannt waren, fand im Jahre 1572 statt und erregte damals das Interesse von ganz Europa. Zu Anfang November jenes Jahres flammte nämlich in einer Gegend des Sternbildes der Cassiopeja, in welcher sonst kein solcher Stern zu sehen war, von einem Tag auf den andern ein derart glänzender Fixstern auf, daß er der Venus zur Zeit ihres größten Glanzes gleichkam und selbst am hellen Mittag leicht gesehen werden konnte. Tycho de Brahe, der berühmteste Astronom jener Zeit, erblickte ihn zuerst am 11. November und verfolgte ihn dann auf das sorgfältigste durch alle Stadien seiner Entwicklung hindurch. Nachdem der neue Stern einige Wochen in seinem prachtvollen stärksten Glanze geleuchtet hatte, war er schon im März 1573, also nach vier Monaten, zu einem gewöhnlichen Sterne erster Klasse herabgesunken. Während er bei seinem ersten Aufleuchten glänzend weiß war, wurde seine Farbe, je schwächer seine Leuchtkraft wurde, eine immer rötlichere. Im Mai war er nur noch zweiter bis dritter Größe. Eine kurze Zeit soll er als Zeichen eines erneuten schwachen Aufleuchtens vorübergehend wieder weißer gestrahlt haben, aber zusehends

nahm er an Kraft der Strahlung ab und schon ein Jahr nach seinem Aufleuchten war er kaum noch zu sehen. Ja, vom März 1574 an sah man mit bloßem Auge keine Spur mehr von ihm, und das Fernrohr war damals noch nicht erfunden.

Auch in der Folgezeit sind je und je plötzlich neue Sterne am Himmel aufgetaucht und wurden um so öfter bemerkt, je genauer man den Sternenhimmel mit immer vollkommeneren Instrumenten zu beobachten und die sichtbaren Sterne in ihren Lagen zu bestimmen lernte. So fand Janson 1660 einen neuen Stern erster Größe im Sternbilde des Schwans, den Kepler 1602 als dritter Größe schätzte. 1628 verschwand er, leuchtete 1655 wieder auf, verschwand 1660 noch einmal und erschien 1665 wieder, um nach einigen Helligkeitsschwankungen nunmehr dauernd als Stern fünfter Größe sichtbar zu bleiben. Am 10. Oktober 1604 entdeckte Brunowski einen neuen, stark funkelnden Stern heller als erster Größe. Schon im April 1605 war er dritter Größe und ist seit 1606 verschwunden. Am 20. Juni 1670 leuchtete ein Stern dritter Größe im Kopfe des Fuchses auf und verschwand bis zum März 1671; nachdem er sich ein Jahr später noch einmal als ganz schwacher Stern gezeigt hatte, verschwand er dauernd.

Nun nahm man längere Zeit keine neuen Sterne wahr. Erst am 27. April des Jahres 1848 wurde von Hind ein solcher im Schlangenträger entdeckt. Er war rötlich, etwa sechster Größe und mußte am 5. April noch mindestens zehnter Größe gewesen sein. Kurze Zeit nahm er an Helligkeit zu, wurde aber bald wieder schwächer und ist seit dem Jahre 1867 gleichmäßig etwas unter zwölfter Größe.

Am 21. Mai 1860 sah Auwers einen neuen Stern siebenter Größe im Skorpion, der am 18. Mai noch nicht dort zu sehen war. Er nahm rasch an Helligkeit ab und war am 16. Juni nicht mehr zu sehen. Am 12. Mai 1866 leuchtete ein vordem bekannter Stern zehnter Größe innerhalb weniger Stunden zu einem solchen zweiter Größe auf, nahm aber so rasch an Helligkeit wieder ab, daß er am 20. Mai schon nicht mehr mit bloßem Auge zu sehen war. Dann ist er schließlich zu seiner ursprünglichen Helligkeit zurückgekehrt.

Am 24. November 1876 wurde von S. Schmidt ein neuer Stern dritter Größe wiederum im Sternbilde des Schwans entdeckt, dessen Glanz rasch abnahm, um im August 1877 auf diejenige zehnter Größe zu sinken, bei welcher er dann in der Folge verblieb. Während man vor der Erfindung der Spektroskopie beim Erscheinen solcher neuen Sterne auf bloße Vermutungen angewiesen war, erkannte man jetzt,

daß solche Erscheinungen der Ausdruck von Sternkatastrophen sein mußten, bei denen ganz gewaltige Ausbrüche von glühenden Gasen die Hauptrolle spielten. Entweder barst dabei der Stern durch einen plötzlichen Ausbruch von glühenden Massen aus der Tiefe, oder, was wohl noch häufiger der Fall sein mag, er löste sich durch Zusammenstoßen mit einem andern, vielleicht schon erloschenen Stern in einen glühenden Gasball auf.

Dabei ist zu bedenken, daß der Vorgang, den wir jeweilen beobachten, in solchen Himmelsfernen vor sich ging, daß wir ihn tatsächlich nicht erlebt haben, obschon wir Zeugen der betreffenden Katastrophe zu sein glaubten. Das Licht, das uns mit Blitzeseile davon Kunde brachte, war vielleicht viele Hunderte von Jahren unterwegs, bis es zu uns gelangt war und wird vielleicht noch tausend Jahre und mehr gebrauchen, bis es weiteren bewohnten Welten in den tiefsten Tiefen des Universums Kunde von solchem Geschehen gebracht hat. So waren beim Aufleuchten des neuen Sterns im Andromedanebel am 17. August 1885, das ein Amateurastronom, Gully in Rouen, zuerst beobachtete, ganz deutlich Eruptionen von glühendem Wasserstoff zu konstatieren. Der neue Stern erreichte nur die sechste Größe und war schon nach einem halben Jahre selbst für die lichtstärksten Teleskope vollständig verschwunden.

Lehrreicher für die Wissenschaft war der ebenfalls von einem Amateurastronomen, Pfarrer Anderson in Edinburg, entdeckte neue Stern im Sternbilde des Fuhrmanns, von dem man nachträglich fand, daß er bei seiner Entdeckung durch das menschliche Auge, als er als Stern fünfter Größe bemerkt wurde, das Maximum seiner Leuchtkraft bereits überschritten hatte. Als nämlich Pickering von der Harwardsternwarte in Cambridge, Nordamerika, den Reichtum seiner photographischen Aufnahmen, die sonst erst nach längerer Zeit zur genaueren Durchsicht und Ausmessung gelangen, daraufhin näher untersuchte, fand er, daß der Stern vor seiner Entdeckung in Amerika bereits 13mal photographiert worden war. 18 weitere Photogramme, welche von derselben Gegend zwischen dem 3. November 1885 und dem 2. November 1892 gemacht worden waren und Sterne bis zur 13. Größe enthalten, zeigen noch keine Spur von dem neuen Sterne.

Aus den diesbezüglichen Aufnahmen ergab sich nun die Tatsache, daß der neue Stern anfangs Dezember 1891 siebenter Größe war und am 7. Dezember die sechste Größe erreichte. Am 20. Dezember hatte er das Maximum seiner Leuchtkraft, einer Größe von 4,4 entsprechend, erlangt, war also tatsächlich vier bis fünf Wochen mit bloßem Auge

sichtbar gewesen, ohne überhaupt entdeckt worden zu sein. Seine Helligkeitsabnahme wurde dann genau verfolgt, bis er schon Ende April 1892 selbst für die stärksten Fernrohre vollständig verschwunden war. Da, im August 1892, als die Beobachter noch die lebhaftesten Diskussionen über die Natur dieses merkwürdigen kosmischen Vorganges führten, erschien der verschwundene neue Stern plötzlich als regulärer planetarischer Nebel.

Zum ersten Male, seit denkende Wesen auf der Erde leben, war man nachgewiesenermaßen Zeuge eines Weltenbrandes gewesen, der zu einer Weltenneugeburt geführt hatte!

Die spektroskopische Untersuchung des Nebels ergab mit Sicherheit seinen Aufbau aus glühenden Gasen, die mit einer abnorm schnellen Bewegung von mindestens 900 km in der Sekunde durch den Raum eilten. Das ist mehr, als man jemals an einem Himmelskörper beobachtet hat, und nur die Bewegung weniger Kometen, die im Perihel um die Sonne sausend deren Oberfläche fast streiften, war während einiger Stunden bei ihrem Vorübergange annähernd so groß gewesen.

Man dachte zuerst an das Zusammentreffen zweier unsichtbarer Sterne, die aufeinander prallend oder sich auch nur streifend sich gegenseitig ihre Krusten zertrümmerten. Dabei fanden dann natürlich gewaltige Ausbrüche aus dem noch heißen Innern statt, wobei die Sterne als Sonnen neu aufleuchtend ganz in glühende Gasmassen eingehüllt wurden. Gegen diese Annahme erhob Seeliger in München Bedenken, die ihn dazu führten, vielmehr anzunehmen, daß hier vermutlich eine schon erloschene Sonne mit einer ausgedehnten Nebelmasse zusammen getroffen sei, was bei deren gewaltiger Größe sehr leicht vorkommen kann. Der gegen den Nebel laufende Stern hatte jedenfalls an sich keine abnorm große Geschwindigkeit; aber sobald er sich den Gasmassen näherte, wurden diese mit beschleunigter Geschwindigkeit von ihm angezogen, bis sie schließlich jene ganz fabelhafte Geschwindigkeit von 900 km in der Sekunde erlangt hatten. In dem Maße, als nun die nur ganz schwach leuchtenden Gasmassen auf die Sonne einstürzten, erglühten sie immer heftiger, bis dieselbe schließlich mit einer immer mehr anwachsenden Atmospäre glühender Gase umgeben war und so stark aufleuchtete.

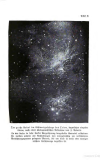
Durch denselben Pfarrer Anderson in Edinburg wurde am 21. Februar 1901 ein neuer Stern im Sternbilde des Perseus entdeckt, der durch das Spektroskop noch interessantere Details als der vorige enthüllte. Zur Zeit seiner Entdeckung war er dritter Größe, nahm

aber so schnell an Lichtfülle zu, daß er schon am folgenden Abend einem Sterne erster Größe glich. In der nächstfolgenden Nacht wurde er sogar noch heller, bald aber verblaßte er unter mehrmaligem Aufflackern zusehends, bis er im August als ein Stern siebenter bis achter Größe nur für die Fernrohre sichtbar blieb.

Die eingehende spektroskopische Beobachtung dieses Sternes offenbarte uns, daß ein in über 300 Billionen km Entfernung sich ein mit der Geschwindigkeit von 16 km in der Sekunde entfernender dunkler oder doch schon äußerst schwach leuchtender Stern auf eine nur ganz schwach leuchtende Nebelmasse gestoßen war, wie es deren nach den photographischen Aufnahmen der letzten Jahrzehnte unzählige in allen Himmelsräumen gibt. Durch das Eindringen des festen Körpers in die Gasmasse war er infolge von Reibung an den sich mit größter Gewalt zu ihm hinbewegenden Nebelteilchen so stark erhitzt worden, daß er mit den ihn zunächst umgebenden Gaspartien zum hellen Aufleuchten gebracht wurde.

In der mächtigen Hülle glühender Gase, die ihn umgibt, ist, wie fast immer in solchen Fällen, der Wasserstoff vorherrschend. Aber wir Menschen, die wir glaubten, dem imposanten Schauspiele beigewohnt zu haben, waren tatsächlich gar nicht Zeugen dieser weltfernen Katastrophe gewesen; denn das Licht, das uns davon Kunde brachte, war etwa 275 Jahre unterwegs gewesen, bis es bei uns anlangte. Was wir damals zu erleben glaubten, weil wir es doch tatsächlich vor unseren Augen sich entwickeln sahen, das hatte schon etwa im Jahre 1625, also zur Zeit des Dreißigjährigen Krieges stattgefunden.

Während der dunkle Stern beim Eindringen in den Gasnebel durch Verdichtung der sich um ihn sammelnden Teile des Nebels lichterloh aufflammte, sah man von dem ihn bildenden Mantel glühender Gase deutlich Lichtwellen allseitig sich ausbreiten und die bis dahin unsichtbaren Massen der weiteren Umgebung des Nebels zum Aufleuchten bringen. In kurzen Zwischenräumen wurden vier solcher Lichtwellenschwärme als Ausdruck von ebensoviel gewaltigen Explosionen in den umgebenden Raum hinausgeschleudert, welche nach und nach in den photographischen Aufnahmen des neuen Sterns als langsam sich vergrößernde Ringe sichtbar wurden, indem sie immer neue Partien des vorher für uns unsichtbaren Nebels beleuchteten und, von ihnen reflektiert, sich zurückwandten, um mit der ihrem viel weiteren Wege entsprechenden Verspätung ebenfalls unser Auge zu erreichen, und zwar mit im Quadrate der Entfernung abnehmender Intensität.



Der große Nebel im Schwertgehänge des Orion, dazwischen einzelne Sterne, nach einer photographischen Aufnahme von J. Roberts.
So wie dieser in sehr starker Vergrößerung dargestellte Gasnebel erscheinen die meisten anderen als Anhäufungen von unregelmäßig um verschiedene Verdichtungszentren gelagerter Materie, die um diese in mehr oder weniger lebhaften Umdrehungen begriffen ist.

Digitized by Google

So sehen wir die für unsere Erkenntnis eigentlich unzugänglichen erloschenen Sterne je und je in solchem grausig schönem Weltenbrande jäh aufleuchten. Mit andern solchen Sternen oder mit Gasnebeln zusammenprallend, werden ihre Körper beim Zusammenstoß durch die Umwandlung der lebendigen Kraft der Bewegung in Wärme dermaßen erhitzt, daß sie mit einem Male bersten und sich in glühende Gasmassen auflösen, d. h. es bildet sich aus ihnen eine Nebelwolke, ein Weltenembryo.

Solcher Wolken von glühenden Gasen, die uns den Schluß und gleichzeitig den Anfang des Sternendaseins darstellen, gibt es zwischen den schon mehr verdichteten Sternen viele tausende. Sie dokumentieren sich als solche durch das bekannte Linienspektrum glühender Gase, das durchaus verschieden ist, von den ein kontinuierliches Spektrum aufweisenden, auch mit den stärkstmöglichen Vergrößerungen nicht mehr in einzelne Sterne auflösbaren Sternhaufen, die an sich ja ein ähnliches Aussehen darbieten.

Das Spektrum dieser Nebelflecke besteht meist nur aus vier hellen, scharf begrenzten Linien, die bei ihnen allen genau an denselben Stellen auftreten. Die erste und hellste dieser Linien fällt mit einer Stickstofflinie zusammen, die zweite, die halb so stark erscheint, ist noch gänzlich unaufgeklärten Ursprungs. Es scheint uns der Lichtstrahl die Kunde von einem uns noch unbekannten Gase zu bringen, das in den letzten Tiefen des Universums überall am Anfang der Weltenbildung aufzutreten scheint, und das vermutlich eine Art Urrohstoff darstellt, aus dem wir uns die anderen komplizierteren chemischen Elemente aufgebaut zu denken haben. Dieser Urrohstoff kann begreiflicherweise nur dort noch im ursprünglichen Zustande vorhanden sein; in den späteren Stadien der Sonnenbildung schwindet er, wohl infolge von Umwandlung in höhere Formen.

Die übrigen dieser Linien gehören dem Wasserstoffe, dem für uns einfachsten und leichtesten Elemente, an. Aber dieses überall im Weltall auftretende Element muß in den Gasnebeln in einem Zustande vorkommen, der von dem uns bekannten vollkommen verschieden ist. Denn gerade die hellste der Wasserstofflinien, die wir in unseren Laboratorien beobachten, fehlt im Nebelspektrum ganz. Diese eine Tatsache, in Verbindung mit den relativen Helligkeitsänderungen der übrigen Linien, deuten mit Sicherheit auf stark veränderte physische Zustände dieses Elementes in den Gasnebeln.

Daneben verraten bei manchen Nebeln gewisse Linien auch das Vorhandensein von Helium, jenem zuerst in der äußersten Sonnen-

atmosphäre durch das Spektroskop nachgewiesenen und deshalb als der Sonne eigentümlich vermuteten Elemente, von dem wir neuerdings erfahren haben, daß es sich aus dem merkwürdigen anderen Elemente Radium abspaltet, aber so leicht und flüchtig ist, daß es, der gewaltigen Anziehung der Sonne folgend, sich stets in dem Maße, wie es gebildet wird, aus dem Machtbereich der Erde, wie aller Planeten, entfernt, um sich in den äußersten Schichten der Sonnenatmosphäre zu sammeln.

Im Gegensatz zu den schon zu Sonnen verdichteten Sternhaufen, die mehr in der Umgebung der Milchstraße liegen, finden wir die Gasnebel im allgemeinen mehr um den relativ sternfreien Milchstraßenpol angehäuft, was dafür spricht, daß sie vermutlich außerhalb dieses Systems liegen. Auch sie bewegen sich mit bedeutender Geschwindigkeit durch den Raum. Nach zahlreichen Messungen an einer großen Zahl derselben ist diese im Mittel 21 km in der Sekunde, kann aber auf über 50 km und mehr in der Sekunde gehen. So bewegt sich Nr. 4373 des Generalkatalogs, der gegen 10000 Nebel umfaßt, mit 47 km Annäherung und Nr. 6790 mit 58,5 km Entfernung in der Sekunde.

Die Gasnebel sind manchmal chaotisch, unregelmäßig gestaltet. Auf einer späteren Stufe erscheinen sie als runde flache Nebelscheiben, deren scheinbarer Durchmesser verhältnismäßig klein zu sein pflegt. Letztere bezeichnet man dann wegen ihrer den Planeten ähnelnden Gestalt als planetarische Nebel.

Diesen Nebelmassen ist schon bei ihrem Entstehen durch den wohl ausnahmslos exzentrischen Zusammenstoß der aufeinander prallenden und sich in glühende Gaswolken auflösenden ausgelebten Sterne eine rotierende Drehung vermittelt worden. Diese wurde aber nach und nach durch dabei auftretende elektrische Vorgänge im gleichen Sinne gesteigert, wie in jüngster Zeit durch diesbezügliche Experimente festgestellt werden konnte. Deshalb kann es uns nicht verwundern, daß in späteren Stadien, namentlich bei den schon mehr verdichteten und das kontinuierliche Spektrum fester Körper gebenden Nebeln diese mit der zunehmenden Kondensation Hand in Hand gehende gesteigerte Rotation der Gasmassen auch äußerlich deutlicher hervortritt. So finden wir fast alle verdichteten Nebel in mehr oder weniger zutage tretender Spiralform, die, von der Kante gesehen, uns als Ellipsen erscheinen. Diese ihre Gestalt ist einfach eine Folge ihrer raschen Umdrehung. Ein solcher, eine zunehmende Verdichtung und Differenzierung der einzelnen in ihm rotierenden Schichten zeigender beinahe von der Kante gesehener und deshalb elliptisch erscheinender Spiralnebel ist der zuerst im Jahre 1612

von Simon Marius im eben erfundenen Fernrohre gesehene Andromedanebel. Seine photographische Aufnahme hat, bevor das menschliche Auge es zu tun vermochte, dargetan, daß in diesem in starker Rotation befindlichen Nebel mit festem Kern sich vermöge der zunehmenden Schleuderkraft einzelne Nebelringe losgelöst haben. In ihnen ist die Masse noch ungleichmäßig verteilt, aber es haben sich bereits Kondensationszentren gebildet, welche nach und nach die noch im Kreise verteilte Masse um sich zu Kugeln sammeln werden.

Dieser Andromedanebel scheint uns die sogenannte Kant-Laplacesche Weltbildungstheorie geradezu zu illustrieren. Danach sollte sich unser Sonnensystem aus einem einst bis über die Bahn des Neptuns hinaus sich erstreckenden planetarischen Nebel durch zunehmende Verdichtung und dadurch beschleunigte Umdrehungsgeschwindigkeit, bei welcher sich einzelne Nebelringe, die späteren Planeten, ablösten, gebildet haben. In diesen Ringen entstanden durch Zusammenziehen der nicht ganz gleichmäßig verteilten Masse Anschwellungen, welche nach und nach die übrigen Bestandteile in sich vereinigten und so zu Gasbällen wurden, die ihrerseits wieder Ringe abschleuderten, welche auseinander fielen und sich zu Monden verdichteten.

Diese im Jahre 1755 vom Königsberger Philosophen Immanuel Kant, und unabhängig von ihm 1796 vom französischen Astronomen Pierre Simon Laplace aufgestellte Weltbildungstheorie, die ja so allgemein bekannt ist, daß wir nicht näher auf sie einzugehen brauchen, stützt sich vor allem auf die überaus merkwürdige Tatsache, daß alle die zahllosen Planeten, die wir heute kennen, und deren Monde, nicht nur die sechs Planeten und deren zehn Monde, die man zur Zeit dieser beiden Denker kannte, ungefähr in der gleichen Ebene, in derselben Richtung — von oben betrachtet umgekehrt, wie sich der Uhrzeiger bewegt — von Westen nach Osten kreisen und sich dabei im gleichen Sinne, d. h. ebenfalls von Westen nach Osten um den jeweiligen Zentralkörper bewegen. Diese Grundbewegung muß in ursächlichem Zusammenhange stehen, und dem gibt die Kant-Laplacesche Theorie vor allem Ausdruck. In Einzelheiten entspricht sie allerdings nicht mehr den zahlreichen Anforderungen, die unsere inzwischen so ungeheuer vermehrte Erkenntnis von ihr verlangen muß. Es sind deshalb mit der Zeit allerlei Abänderungen an ihr vorgenommen worden. So gehen die neueren Erklärungsversuche von den so überaus häufigen Spiralnebeln, wie der Andromedanebel ein solcher ist, aus. Die amerikanischen Astronomen Chamberlin und Moulton nehmen z. B. an, daß nicht sowohl durch

beschleunigte Umdrehung allein, sondern durch Anstreifen an eine große, rasch sich vorbeibewegende Sonne der ursprünglich unregelmäßige Gasnebel Spiralform angenommen habe, in welchem dann um einen sich verdichtenden Kern, das werdende Zentralgestirn, durch die Schwungbewegung einzelne Teile gleichzeitig abgeschleudert worden seien, aus denen dann, durch die ordnende Gewalt der Anziehung zusammengezogen, die in Ellipsen um die Zentralsonne sich bewegenden Planeten und um diese gleicherweise die Monde entstanden.

Der deutsche Astronom Proctor dagegen nahm an, daß der ganze Raum, den unser Sonnensystem einnimmt, und noch darüber hinaus im Uranfange von fein verteilter kosmischer Materie erfüllt gewesen sei, worin sich durch Zusammenstöße der sich regellos hin und her bewegenden einzelnen Teilchen zuerst ein Hauptschwergewichtszentrum, die Sonne, darum verschiedene andere Schwergewichtszentren, die Planeten, und um diese noch kleinere, die Monde, gebildet hätten. Von den einzelnen Verdichtungsherden aus sei dann im Verhältnis zu ihrer Verdichtungsenergie alle übrige Materie eingefangen und gezwungen worden, in demselben Sinne um die Gravitationszentren und um sich selbst zu kreisen.

Wie etwa die Weltenbildung vor sich geht, das beschreibt uns der namhafte, vor einigen Jahren durch Verleihung des Nobelpreises ausgezeichnete Stockholmer Physiker Svante Arrhenius im ersten Bande seines im Jahre 1903 erschienenen Lehrbuches der kosmischen Physik folgendermaßen: „Im Anschluß an die Kant-Laplacesche Hypothese und die Ergebnisse der modernen astronomischen Wissenschaft hat man sich als ‚Urnebel des Sonnensystems' einen weitausgedehnten, äußerst dünnen Nebel zu denken, welcher, ähnlich demjenigen im Orion und den Plejaden, eine Ausdehnung von mehreren tausend Neptunbahnen besitzen konnte. In diesen unregelmäßigen Bildungen ist die Konzentration der Materie so gering, daß keine merklichen Anziehungskräfte herrschen, sondern dieselben müssen durch Millionen von Jahren wirken, um merkliche Verschiebungen zwischen den verschiedenen Teilen hervorzubringen. Die leichtesten Gase, wie Wasserstoff und Helium, befinden sich in den äußersten Schichten dieser Gasmassen, ebenso wie sie die äußersten Teile der Sonne einnehmen. Nur diese senden Licht nach außen durch die elektrischen Entladungen, welche in den äußeren Schichten zufolge des Einfangens von negativ geladenen Teilchen entstehen. Wenn diesen Gebilden Wärme zugeführt wird, so entfernen sich die Gase immer mehr von dem Mittelpunkt und kühlen sich dadurch ab.

Spiralnebel der Andromeda, schräg von oben gesehen, nach einer photographischen Aufnahme von J. Roberts.

Digitized by Google

Es sind also diese Nebel große Aufspeicherungsplätze der Wärmeenergie, welche von den Sonnen zu ihnen gestrahlt wird. Diese Energie kommt ihnen nachher bei ihrer Kondensation zugute, welche im nächsten Stadium erfolgt. Die inneren Teile der Nebel schließen die schwereren chemischen Elemente ein; Verbindungen werden bei der eingeheuren Verdünnung nicht bestehen können. Diese Elemente besitzen eine so geringfügige Geschwindigkeit, daß sie dem Nebel nicht zu entfliehen vermögen. Sie besitzen aber eine höhere Temperatur als die äußeren aus den leichten Gasen bestehenden, und zwar denselben Umständen zufolge, welche bewirken, daß beim sogenannten adiabatischen Gleichgewicht in der Erdatmosphäre die Temperatur mit der Tiefe zunimmt. Trotzdem diese Körper anwesend sind, verraten sie sich doch nicht durch Lichtentwicklung, da sie nicht in den äußeren Teilen vorkommen, welche von den negativ geladenen Partikelchen getroffen werden. So erklärt sich die sonderbare Erscheinung, daß die Urmaterie nur einige leichte Elemente zu enthalten scheint (Wasserstoff, Helium und das Gas, welches der Nebellinie 446 $\mu\mu$ entspricht). Zur Erklärung dieses Umstandes nahm man früher an, daß in äußerster Verdünnung alle chemischen Elemente sich in Wasserstoff zersetzen, eine Annahme, welche mit der chemischen Erfahrung in Widerspruch steht. In dem Lichte einiger Nebel hat man außerdem einige schwache Linien gefunden, welche dem Magnesium und Eisen entsprechen. Diese rühren vielleicht von dem Eigenlicht dieser Gase her; denn im Innern des Nebels kann wohl die Temperatur hoch genug sein.

Die Zustände in einem solchen Nebel sind nicht stabil, sie können aber zufolge der außerordentlich geringen wirkenden Kräfte sehr lange (praktisch genommen unendlich lange) bestehen. Im Laufe der Zeit müssen die Anziehungskräfte dieselben zu regelmäßigeren rundlichen Formen zusammenballen. Diese Zusammenballung kann aber dadurch verhindert werden, daß Kondensationskerne von außen in die Nebelmaterie eindringen, wie die Kometen ins Sonnensystem. Diese dichteren Anhäufungen ziehen allmählich die Materie in ihrer Nähe zusammen, so daß eine Art Lichtungen um diese Centra im Nebel entstehen. Diese Ansammlungen gravitieren gegeneinander und werden wohl zum Teil miteinander vereint, da die übrig gebliebene Nebelmaterie ihre Bewegungen hemmt.

Wenn nun die Nebelmaterie von Anfang an eine ausgesprochene Drehung um eine Achse vollführt, werden diese Kondensationspunkte mitgeführt und machen allmählich die gemeinsame drehende Bewegung mit. Durch die partielle Kondensation entstehen Zusammenziehungen

in der Umgebung, welche zuletzt ihre Wirkung auf den ganzen Nebel ausüben. Die Zentrifugalkraft wird vergrößert und anstatt einer großen Dunstkugel mit einheitlicher Bewegung bildet sich eine Scheibe aus. Durch die Kondensation der Materie um bestimmte Punkte herum, und durch ihr gleichzeitiges Verschwinden aus den zwischenliegenden Teilen, erhalten dieselben eine immer selbständigere Stellung, bis alle Teile der Scheibe beinahe ausschließlich dadurch bestimmt sind, daß die Zentrifugalkraft genau die Schwere aufwiegen soll. Mit andern Worten, die Bewegungen nähern sich immer mehr denjenigen in einem Planetensystem. Diesem Zustande entsprechen die spiralförmigen Nebel, welche überaus gewöhnlich sind. Dieselben sind sehr flach, scheibenförmig, welches zeigt, daß die Gravitation durch eine Zentrifugalkraft in der Ebene der Scheibe aufgewogen wird. Die spiralige Struktur kann aus dem Umstand erklärt werden, daß die Kondensationspunkte nicht die Bewegungen der sie umgebenden Materie gänzlich beherrschen, wie Wilczynski näher ausgeführt hat. Diese Nebel zeigen ein kontinuierliches Spektrum, woraus zu schließen ist, daß die Strahlung der Kondensationskerne, die beinahe alle die potentielle Energie der diffusen Nebelmaterie auf sich verdichtet haben, diejenige der Nebelgase vollkommen überwiegt.

Man könnte sich auch vorstellen, daß die anfängliche Drehung des Nebels relativ schwach gewesen ist. Es entsteht dann kein ausgesprochenes Zentrum, um welches herum die Bewegung stattfindet, und keine kreisende Bewegung. Die Kondensationen können mehr durch Zufall bestimmt werden und um mehrere sekundäre Zentren sich ausbilden. Dieselben werden dann später ziemlich regellos aufeinander hingravitieren und Bahnen von allen möglichen Verhältnissen der Exzentrizität bilden. Dieser Fall scheint bei den Doppelsternen sehr häufig zu sein.

Wir haben jetzt die Entwicklung bis zu der Periode verfolgt, wo sich Planetensysteme oder Sternsysteme gebildet haben. Die Körper derselben nehmen bei ihrer Kondensation aus der umgebenden Materie immer mehr zu. Anfangs steigt ihre Temperatur durch die Kondensation, dann tritt starke Strahlung und damit Abkühlung (wenigstens in den höheren Schichten) ein. Dieser Zustand wird endlich dazu führen, daß sich eine feste Kruste bildet, worauf der Wärmeverlust nach außen so gut wie gänzlich abgebrochen ist. So z. B. ist der jetzige Wärmeverlust der Sonne $1{,}2 \cdot 10^5$ Kalorien (d. h. Wärmeeinheiten) pro qm und Minute. Derjenige der Erde beträgt nicht einmal $2 \cdot 10^{-4}$ Kalorien pro qm und Minute. Wenn einmal die Sonne aus einer

ebenso dicken Kruste wie die Erde (aus denselben eruptiven Gesteinen) bedeckt ist, wird sie also in tausend Millionen Jahren nicht viel mehr Wärme verlieren als jetzt in einem einzigen. Man kann wohl sagen, daß in diesem Ruhezustand die Energie der Himmelskörper auf unermeßliche Zeiten aufbewahrt wird.

Der Endzustand der aus den Nebeln entwickelten Himmelskörper ist demnach durch große Körper von unerhört hohem Druck und Temperatur in ihrem Innern charakterisiert, welche von einer festen, schlechtleitenden Kruste umgeben und als beinahe absolute Behälter von Energie anzusehen sind. Zufolge der hohen Temperatur und des hohen Druckes in ihrem Innern sind die Atome darin zu Verbindungen von ungeheurem Energieinhalt bei außerordentlich geringem Volumen zusammengeschlossen.

Diese Körper würden nun während unermeßlicher Zeiten umeinander kreisen, wenn für die Stabilität des Universums ebensogut gesorgt wäre wie für diejenige des Sonnensystems. Dies ist nun aber nach der Meinung der einsichtsvollsten Astronomen nicht der Fall. Im Raum irren Sterne herum mit Geschwindigkeiten so groß, daß sie von keinem Himmelskörper der jetzt bekannten Dimensionen in feste Bahnen gelenkt werden können. Arktur und 1830 Grombridge geben die auffallendsten Beispiele dieser eilenden Himmelskörper. Sie müssen die Gegenden eines Sonnensystems nach dem andern durchstreichen, bis sie in der Unendlichkeit der Zeit zuletzt gegen einen zweiten Weltkörper stoßen. Wenn dieser ein Nebel ist, und der irrende Stern ihn nicht durchbricht, so entsteht ein neues Anziehungszentrum im Nebel. Ist dagegen der angetroffene Körper eine erloschene Sonne, so erfolgt eine ungeheure Explosion. Die hoch temperierten, energiereichen und stark kondensierten Verbindungen im Innern der Sonne kommen zum Teil unter geringere Drucke, sie explodieren unter außerordentlich starker Wärmeentwicklung. Zu den Energien der beiden Himmelskörper kommt diejenige des Stoßes hinzu. Durch die Explosion werden die Trümmer der beiden Weltkörper wieder auseinander gestoßen, so daß ihre Gase zufolge der verminderten Schwerkraft eine außerordentlich diffuse Atmosphäre bilden, die dem Nebularzustande entspricht. Ein neuer Nebel ist wieder gebildet, und das Spiel kann wieder von neuem anfangen. Zufolge der gewaltigen Ausdehnung wird beinahe die ganze Energiemenge in potentielle Energie wieder verwandelt sein. Die Temperatur ist auf mäßige Beträge gesunken und steht in den äußersten Schichten nicht viel über dem absoluten Nullpunkt.

Im allgemeinen wird der Stoß beim Zusammentreffen der beiden Himmelskörper nicht zentral, sondern schräg sein. Demzufolge wird der neugebildete Nebel von Anfang an eine Achsendrehung erhalten.

Viele Astronomen haben eine Auslöschung zufolge dunkler Materie im Weltraum angenommen. Diese verlorene Licht- und Wärmemenge kommt schließlich den Nebeln zugute, teils durch ihre Absorption der Strahlung der Sonnen, teils durch Aufnehmen der einstürzenden geladenen Partikelchen. Alle von den Sonnen der Welt ausgestrahlte Energie wird schließlich von diesen Nebeln aufgenommen, welche wegen ihrer niedrigen Temperatur keinen merklichen Teil davon durch Strahlung verlieren (sie strahlen übrigens gegeneinander). Die Energie wird in ihnen durch die Lockerung und Ausdehnung der äußersten Gasschichten aufgespeichert. Eventuell werden dabei Gasmolekeln von höherer mittlerer Bewegung in den Weltraum hinausgetrieben, wo sie den Wärmevorrat anderer Himmelskörper (Nebel) bereichern können.

Es ist also eine stete Wechselwirkung. Neue Nebel entstehen aus erloschenen Sonnen; vielleicht entspricht dieser Vorgang demjenigen, der in einigen Fällen beobachtet wurde, bei welchen neue (durch Zusammenstoß entstandene) Sterne nach kurzer Zeit verblaßten und einem Gasnebel Platz ließen. Aus den Nebeln entstehen Sonnen, wobei die (strahlende) Energie und Materie, welche von andern Sonnensystemen in den Bereich der Nebel gekommen sind, sich wieder konzentrieren. Dadurch entstehen heiße Sonnen, große Konzentrationen von Kraft und Materie, welche anfangs, unter Zunahme von Temperatur und Druck, durch Strahlung unerhörte Wärmemengen und etwas Materie verschleudern, welche in Nebel aufgehäuft werden. Danach kühlen sie sich ab, erhalten später eine feste Kruste und gehen, wie die Sporen der Lebewesen, in einen Ruhezustand über, wo sie nur minimale Mengen Energie und so gut wie keine Materie verlieren. Zu neuem Kreislauf werden sie wieder erweckt, wenn sie mit einem andern Weltkörper dieser Art zusammenstoßen, wobei durch Explosion ein neuer Nebel entsteht.

Die Entwicklungszeit der Sonnen dürfte der kürzeste Abschnitt in dieser Entwicklungsgeschichte sein, der Ruhezustand des dunklen Himmelskörpers der längste und der Nebularzustand eine mittlere Länge einnehmen. Es wäre demnach zu vermuten, daß der größte Teil der Materie sich in dunklen Himmelskörpern eingeschlossen befindet, die geringste in heißen Sonnen. Das größte Volumen nehmen dagegen die Nebel ein, welche auch die niedrigste Temperatur besitzen. Die Oberflächentemperatur der dunklen Körper wird, falls sie nicht wie die

Planeten des Sonnensystems in der unmittelbaren Nähe eines mächtigen strahlenden Körpers sich befinden, nahezu auf die Temperatur der Körper, gegen welche sie strahlen, d. h. der Nebel, oder mit anderen Worten, auf den absoluten Nullpunkt sinken. Es wird demnach die mittlere Temperatur des Weltalls (unsere Sonne abgerechnet), mit welcher man bei Strahlungsversuchen zu rechnen hat, zum überaus überwiegenden Teil von den Nebeln (und den dunklen Körpern) bestimmt werden, d. h. nur wenige Grade über dem absoluten Nullpunkt liegen, was nach Langleys Versuchen gänzlich der Erfahrung entspricht."

Unzerstörbar wie der Stoff d. h. die Materie ist nach dem von dem Arzte Robert Mayer in Heilbronn im Jahre 1842 und unabhängig davon 1847 von dem damaligen Militärarzte in Potsdam Hermann Helmholtz gefundenen Gesetze von der Erhaltung der Kraft die Energie oder Kraft. Wie die Materie ist sie in beständigem Flusse, in ewiger Verwandlung. Die Nebel verschlucken die Strahlungsenergien der Sonnen und setzen sie meist in potentielle Energie um; nur ein sehr kleiner Bruchteil bleibt als Wärmeenergie erhalten, so daß sich gleichwohl die Temperatur der Nebel dem absoluten Nullpunkt von —273° C. nähert.

Und alle die zahllosen strahlenden und dunklen Sonnen, die den Weltenraum erfüllen, sind gleich wie unsere kleine Sonne nicht von einigen, sondern wahrscheinlich von sehr vielen Planeten und diese wiederum von Monden umgeben, ganz abgesehen von den Myriaden von Kometen und Meteorschwärmen, welche das All durchziehen und gelegentlich nicht nur unter die anziehende Wirkung der Sonnen und ihrer Trabanten kommen, sondern von diesen an sich gefesselt werden und dann einen mehr oder weniger dauernden Familienzuwachs bedeuten. Sobald die planetarischen Körper sich soweit abgekühlt haben, daß das Leben, so wie wir es kennen, an deren Oberfläche Fuß fassen kann, so stellt es sich ein und entwickelt sich durch und aus sich selbst zu immer höheren Formen, bis schließlich nicht nur vegetierende, sondern wollende und denkende Lebewesen die Biosphäre der betreffenden Körper bevölkern.

Gleich wie in unserem Sonnensystem muß sich dieser Prozeß in allen Sonnensystemen des Universums vollziehen. Das ist keine Vermutung, sondern ein Naturgesetz, das allgemeine Gültigkeit beanspruchen darf. Wenn wir in den fernsten Himmelsräumen dieselben Stoffe nach denselben Gesetzen aufeinander wirken sehen wie auf unserer Erde und in unserem Sonnensystem, so muß ganz naturnotwendigerweise in einem bestimmten Momente der Weltenentwicklung die Materie Leben aus

sich entwickeln und schließlich denkende und fühlende Wesen der höchsten Art aus sich hervorgehen lassen, die noch in höherem Maße wie wir, die wir auch erst diesem Ziele zustreben, sich die ganze Natur, soweit sie im Bereiche ihrer Verstandeskräfte liegt, untertan machen werden.

Unerfaßlich wie die Sternenwelt selbst ist die Pracht und Mannigfaltigkeit der Quintillionen von belebten dunkeln Welten, die zwar für unser Auge unsichtbar sind und sich nur unserem denkenden Verstande offenbaren, aber nichtsdestoweniger mit absoluter Sicherheit vorhanden sind, wie die Myriaden von Sonnen kreisen und in ewigem Wechsel Leben entstehen und Leben vergehen lassen. So wenig unser beschränkter Menschenverstand die überwältigende Größe und Herrlichkeit des Weltengebäudes auch nur einigermaßen, geschweige denn erschöpfend zu erfassen und zu begreifen vermag, so wenig kann er, auch mit Aufwendung aller Phantasie, die erhabene Majestät dieser unermeßlichen Zahl von mit Leben in den verschiedensten Formen begabten Welten sich ausmalen, die um die Billionen von Sonnen kreisen und aus ihrer Strahlungsenergie immer neue Lebenskraft schöpfen, bis einst nach hunderten von Milliarden Jahren eine Sonne nach der andern ihre lebenspendende Tätigkeit einstellt, erkaltet und sich mit einer dunkeln Kruste umgibt, die sie für uns unsichtbar macht.

Das ist das Ziel aller Sonnenentwicklung, aber nicht das Ende. Wenn auch die Gestirne alle den Sonnentod sterben, und als dunkle Körper Äonen hindurch ein für uns unbemerkbares Dasein fristen, so kommt doch einmal mit Naturnotwendigkeit, das sagen uns alle die zahlreichen bald hier, bald dort neu aufleuchtenden Sterne, die Stunde der Auferstehung zu neuem, ebenso glänzenden Dasein, wenn die dunkeln Sonnen aufeinander oder auf Gasnebel stoßend in feurigem Weltenbrande auflodern und die in ihnen befindliche kinetische Energie in potentielle Energie verwandeln. Ein solcher Weltenuntergang ist nun aber nichts anderes als eine Weltenneugeburt. Von selbst reiht sich hier in endloser Kette das Ende immer wieder an den Anfang an. In der ganzen Schöpfung finden wir nirgends ein spurloses Vergehen und Verschwinden, sondern nur ein beständiges Neuwerden, ein unaufhörliches Sichaussichselbstentwickeln, mit einem Wort ein ewiges Leben.

III.

Unser Sonnensystem.

Aus dem Weiteren in das Engere schweifend gelangen wir aus der unermeßlichen Welt der Fixsterne in die gegenüber jener ganz winzige Welt, in welcher unsere Sonne als Königin herrscht und einen ganz gewaltigen Hofstaat um sich versammelt hat. Zu diesen ihren Trabanten gehören neben den Kometen und den sich daraus entwickelnden Meteorschwärmen, die erst nachträglich in ihre Abhängigkeit gerieten und nicht von Anbeginn zu ihr gehörten, vor allem die Planeten, deren Zahl, je mehr sich unser Blick weitet, eine unbegrenzbare ist und in die Tausende, wenn nicht in die Millionen geht.

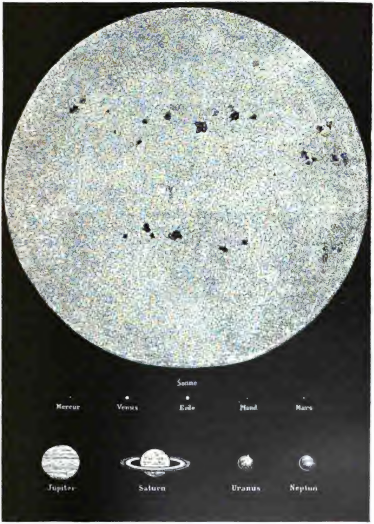
Daß ihre Zahl für uns heute durchaus unbegrenzbar ist, daran trägt der unübersehbare Schwarm der zwischen Mars und Jupiter um die Sonne kreisenden Planetoiden allein die Schuld. Sie komplizieren vor allem die vor ihrer Entdeckung so einfach zusammengesetzt scheinende Familie der Sonne, von der bis zum Jahre 1781 überhaupt nur 6 Mitglieder mit 10 Monden bekannt waren. Seither hat durch die unvergleichliche Schärfung unserer Beobachtungsmittel im Vergleich zu früher eine solche Fülle von Neuentdeckungen unser Sonnensystem zu einem äußerst komplizierten Organismus gemacht, dessen wunderbarer Aufbau uns mit höchstem Staunen erfüllt.

Aber so verschieden auch die Planeten an Größe und Zahl ihrer Satelliten sein mögen, alle kreisen, wie wir bereits bemerkt haben, in fast derselben Ebene und in gleicher Richtung von Westen nach Osten um die Sonne oder, genauer gesagt, um den Schwerpunkt des Systems, um welchen sich auch die Sonne um sich selbst dreht. Dabei drehen sich alle in derselben Richtung um ihre Achse, in welcher sich auch der Zentralkörper, die Sonne, um sich selbst bewegt. In derselben Richtung wie alle Planeten bewegen sich auch alle Satelliten — mit vereinzelten

Ausnahmen — um ihren Hauptkörper. Ein ähnliches Verhalten zeigt die Lage der Bahnebenen von Planeten und Trabanten und der Äquatorialebenen, die im allgemeinen nur wenig gegen einander und gegen den Sonnenäquator geneigt sind, nicht minder die Form der Bahnen, welche nur unbedeutend von der Kreisform abweichen. Eine solche Übereinstimmung in den Bewegungen kann unmöglich das Resultat eines bloßen Zufalls sein, ihr muß unbedingt eine gemeinsame Ursache zugrunde liegen. Das Sonnensystem ging wirklich aus einem sich weit über die Neptunbahn hinaus erstreckenden Gasnebel hervor, der infolge zunehmender Verdichtung und damit verbundener beschleunigter Rotation sich abflachte und mit wachsender Schwungkraft einzelne Ringe abstieß, die zerbrachen und sich zu Planeten und deren Monden zusammenballten. Mag man sich den Vorgang im einzelnen erklären, wie man will, die Tatsache, daß durch allmähliche Verdichtung und Zusammenballung eines gewaltigen Urnebels unser Sonnensystem hervorging, steht vollkommen fest.

Und in diesem System von zahllosen, von der Urmasse abgeschleuderten Planeten und deren Monden ist der weitaus größte Teil als zentrale Masse beisammen geblieben und hat zur Bildung der Sonne Veranlassung gegeben. Dieser Zentralkörper hat 750mal mehr Masse als alle seine Trabanten zusammengenommen; deshalb fällt der gemeinsame Schwerpunkt des ganzen Sonnensystems noch in ihn hinein. An Umfang stellt die Sonne eine so gewaltige Kugel dar, daß 1 283 700 Kugeln von der Größe unserer Erde erforderlich wären, um eine an Volumen ihr gleichkommende Kugel zu bilden. Denkt man sich die Sonne ausgehöhlt und die Erde mit dem Monde in richtigem Abstande in ihren Mittelpunkt versetzt, so könnte letzterer nicht nur darin kreisen, ohne in seinen Bewegungen gehemmt zu werden, sondern es bliebe noch zwischen ihm und dem nächsten Punkte der Sonnenoberfläche ein Abstand, welcher nur um etwa ein Fünftel kleiner ist als seine Entfernung von der Erde.

Da aber die Dichtigkeit der Sonnenmaterie nur ein Viertel derjenigen der Erde ist, d. h. nicht ganz dem Anderthalbfachen der Dichtigkeit des Wassers bei einer Temperatur von 4° C. entspricht, so ist die Sonnenmasse nur 320000mal so groß wie die Erdmasse. Die Größe der Schwerkraft ist auf ihrer Oberfläche 27,5 mal größer als auf der Erdoberfläche, und der freigelassene Stein, der an der Oberfläche unseres Planeten in der ersten Sekunde 4,9 m fällt, würde auf der Sonne in derselben Zeiteinheit, vom Sonnenkörper angezogen, 134,7 m durchlaufen. Die Sonne ist immer noch über tausendmal größer als ihr größter



Die Sonne und ihre größten Planeten in den richtigen Größenverhältnissen zusammengestellt.

Digitized by Google

Trabant, der gewaltige Jupiter, und ihre Oberfläche übertrifft 12000 mal diejenige der Erde. Ihr Durchmesser ist um das Hundertsiebenzehnfache größer als derjenige der Erde. Um uns von der Größe und Entfernung unseres Zentralgestirns auch nur einen annähernden Begriff zu machen, hat der englische Astronom Young folgendes anschauliche Bild gebraucht: Wenn wir zu einem kleinen Erdglobus von 10 cm Durchmesser eine entsprechende Sonnenkugel herstellen wollten, so müßten wir derselben einen Durchmesser von beinahe 11 m geben und beide Körper etwa 1200 m von einander entfernt aufstellen. Daraus kann man sich eine ganz gute Vorstellung der Größenverhältnisse und der Entfernung der beiden Körper machen.

Obschon die Sonne rund 150 Millionen km von der Erde entfernt ist, und letztere von der nach allen Richtungen hin gleichmäßig erfolgenden Sonnenstrahlung nur einen winzig kleinen Teil, nämlich bloß $^{1}/_{2735000000}$, erhält, so beträgt doch die jährlich von der Erde empfangene Sonnenwärme allein in runden Zahlen ausgedrückt 2 Quadrillionen und 700000 Trillionen Grammkalorien, das ist also die Ziffer 27 mit 23 Nullen dahinter. Diese Wärmemenge würde genügen, um eine die ganze Erde umgebende Eisschicht von etwa 50 m Dicke zu schmelzen. Um die gleiche Wärmemenge mit irdischen Brennmaterialien, z. B. besten Steinkohlen, zu erzeugen, würde man ungefähr 6750 Billionen (mit 12 Nullen) Zentner dieses Materials nötig haben oder eine kompakte Kugel aus gepulverter Steinkohle von mindestens 96 km Durchmesser verbrennen müssen. Um ein anderes Bild zu gebrauchen, können wir auch sagen, daß sie so groß ist, als ob in jeder Minute $2^{1}/_{2}$ Zentner bester Steinkohlen auf jedem Quadratmeter ihrer Oberfläche verbrannt würden.

Könnte man diese enorme, durch die Sonnenstrahlung an die Erde gelieferte Wärme aufspeichern und nach Belieben verwerten, so würde die in einem einzigen Jahre aufgefangene Wärme vollkommen ausreichen, um auf Tausende von Jahren hinaus alle Brennstoffe zu ersetzen, welche die Menschen auf dem ganzen Erdenrund zu Heizungs- und Industriezwecken aller Art verwenden.

Mit dieser der Erde in so verschwenderischem Maße gespendeten Wärmemenge werden, wie später eingehend zu besprechen sein wird, nicht weniger als 483000 cbkm Wasser in Dampfform verwandelt, alle Winde und atmosphärischen Bewegungen auf der Erde erzeugt, alles Leben überhaupt erst möglich gemacht und unterhalten. Kurz, der Sonne verdankt die Erdoberfläche alle Veränderungen, und doch erhält

sie nur einen verschwindend kleinen Bruchteil der gesamten Strahlungsenergie derselben, von der überhaupt nur der 229 millionste Teil der Gesamtheit der Planeten zugute kommt. Alles übrige und zwar im Grunde genommen die ganze Sonnenkraft strahlt an den Planeten

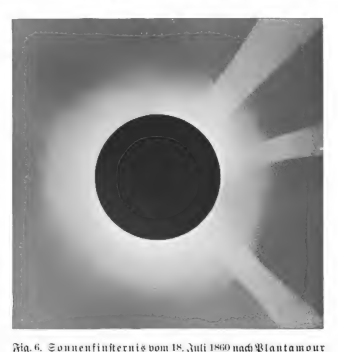


Fig. 6. Sonnenfinsternis vom 18. Juli 1860 nach Plantamour in Genf. Um die vom Monde beschattete Sonne erheben sich besonders rechts Protuberanzen als leichte Erhöhungen und darüber wird die Sonnenkorona in Strahlenbüscheln besonders weit hinausgesandt als Zeichen, daß hier besonders heftige Bewegungen der glühenden Gase der Sonnenoberfläche stattfinden. Da das Bild durch das umkehrende Fernrohr gesehen erscheint, erstrecken sich die Koronastrahlen, wie gewöhnlich, hauptsächlich nach Süden.

vorbei in den Weltraum hinaus. Aber hier wird sie nicht zwecklos vergeudet, wie man früher geglaubt hat, sondern auf kosmische Nebelmassen stoßend, wird die kinetische Kraft von diesen verschluckt und als latente potentielle Energie aufgespeichert, bis auch diese zu Sonnen geworden sind und das angesammelte Kapital wieder ausgeben.

Digitized by Google

Von der Leuchtkraft der Sonnenoberfläche im Betrage von 27000 Millionen Meterkerzen und von der Wärmestrahlung von fast einer Quadrillion (mit 24 Nullen) Pferdekräften pro Sekunde wird ein großer Teil von der kühleren Sonnenatmosphäre verschluckt. Ein Sonnenstrahl, der vom Sonnenrande her die Atmosphäre des Zentralgestirns durchläuft, hat von uns aus betrachtet, schon beinahe die halbe Strahlungsenergie eingebüßt. Die Temperatur der Sonnenoberfläche hat man neuerdings auf etwa 10000° C. bestimmt. Das ist nur eine sehr bescheidene Größe; denn noch Secchi, der seinerzeit als eine der ersten Autoritäten auf dem Gebiete der Sonnenforschung galt, nahm für die obersten Schichten der Sonnenatmosphäre eine Temperatur von 5 Millionen Grad C. an und glaubte, daß bei der sehr bedeutenden Absorption, welche diese Atmosphäre auf die aus dem Innern kommenden Strahlen ausübt, der Sonnenkern wohl eine Hitze von 40 Millionen Grad Celsius besitzen könne. Aber schon eine Oberflächentemperatur der Sonne von 10000° C. ist eine gewaltige Hitze; denn sie würde vollkommen genügen, eine darauf gelegte Eisschicht von 14³/₄ m Dicke binnen einer Minute zu schmelzen.

Diese ganz enorme Menge von Strahlungsenergie wird fast völlig aus dem Verdichtungsprozesse bestritten, dem die Sonne wie alle Gestirne, unterworfen ist. Die dabei unaufhörlichen Stöße und Reibungen, welche die Bewegungen der einzelnen Teilchen hemmen, sind eine sehr ergiebige Energiequelle. So hat Helmholtz berechnet, daß eine jährliche Abnahme des Sonnendurchmessers von 60 m infolge von Zusammenziehung vollkommen genügen würde, um die gegenwärtige Wärme- und Lichtausgabe zu ersetzen. Diese Verringerung würde in dem Winkeldurchmesser, in welchem wir die Sonne erblicken, erst in 6000 Jahren eine halbe Sekunde erreichen, eine Größe, die selbst heute noch in der Messung nicht verbürgt werden kann. Aber, was Helmholtz noch nicht wissen konnte, das hat die Forschung der letzten Jahre ergeben, daß nämlich die Zusammenziehung tatsächlich nur einen kleinen Bruchteil dieser Größe zu betragen braucht, indem nämlich in der Sonne sich so große Mengen von Radium befinden, daß deren Wärmeausstrahlung allein schon einen großen Teil des Energieverlustes der Sonne decken würde.

Daneben tragen zu einem allerdings sehr kleinen Bruchteile auch die außerordentlich zahlreichen Meteoriten, die ganz notwendigerweise wie auf der so viel kleineren Erde auf die Sonne, und zwar dort mit einer 28mal größeren Gewalt aufschlagen müssen, wie auch die mancherlei in die Sonne stürzenden Kometen durch das Freiwerden von Wärme

beim Aufsturze zum Unterhalte der Sonnenenergie bei. Und in der Tat können wir durch die Rechnung leicht feststellen, daß ganz gewaltige Wärmemengen dadurch erzeugt werden können. So zeigt es sich, daß jedes Asteroid mindestens 4000 mal, wenn es mit der geringsten überhaupt möglichen Geschwindigkeit auf die Sonne stürzt, bei größeren Geschwindigkeiten aber bis zu 9000 mal mehr Wärme entwickelt, als durch die Verbrennung einer gleichen Menge von Kohle erzeugt wird. Nach der Rechnung von W. Thomson würde, wenn der sonnennächste Planet, Merkur, auf die Sonne stürzte, die dadurch erzeugte Wärmemenge die Sonnenstrahlung für etwa $6^2/_3$ Jahre decken. Damit also die ganze Wärmeausgabe der Sonne auf diese Weise gedeckt würde, wie der Heilbronner Arzt Robert Mayer im Jahre 1847 annahm, müßte durchschnittlich alle sieben Jahre eine dem Merkur gleiche Masse auf die Sonne stürzen, oder, was auf dasselbe hinauskommt, es müßten in jeder Sekunde auf je 100 qm ihrer Oberfläche an 30 kg Masse niederfallen. Das würde für die ganze Sonne einen Aufsturz von wenigstens 94000 Billionen kg pro Sekunde ausmachen oder alle zwei Jahre der Masse unseres Mondes gleichkommen. Diese Annahme ist nun allerdings vollkommen von der Hand zu weisen; denn einerseits würde die Sonne dadurch einen solchen Zuwachs an Materie erfahren, daß die Folgen sich in der beschleunigten Bewegung der Erde und der übrigen Planeten verraten müßten, andererseits aber ist es kaum denkbar, daß meteorische Massen in so enormer Menge im Sonnensystem vorhanden wären, ohne daß wir hiefür direktere Anzeichen hätten.

Würde wirklich auf der von der Sonne verfolgten Bahn im Weltall eine so große Menge mit gewaltiger Geschwindigkeit sich bewegender Körper vorhanden sein, daß durch das Hineinstürzen derselben in die Sonne die Wärmeausstrahlung der letzteren auch nur einigermaßen ausgeglichen würde, so müßte unsere Erde, die der Sonne verhältnismäßig so nahe steht, von einer beträchtlich größeren Menge solcher umherirrender Körper von einigem Umfang getroffen werden, als es tatsächlich der Fall ist. Nach einer Bemerkung Newcombs müßte in der Tat die Erde infolge des beständigen Anpralles von Meteormassen rotglühend sein. Da dies aber nicht der Fall ist, so ist die Mayersche Annahme unrichtig und behält die im Jahre 1854 von Hermann Helmholtz ausgesprochene Vermutung recht, daß die sich stets gleichbleibende Sonnenenergie der Hauptsache nach aus der Verdichtung der Sonnenmasse bestritten wird, die noch lange nicht die größtmögliche Dichtigkeit erlangt hat. Mit Hinzuziehung der Wärmeentwicklung durch Radium ist also

noch für zahllose Millionen von Jahren eine ebenso große Sonnenstrahlung, wie sie heute besteht, vollkommen gewährleistet.

Da die glühenden Gase, welche die Sonnenkugel bilden, zufolge der hohen Temperatur und Dichtigkeit eine große innere Reibung besitzen, so müssen sie in den inneren Schichten von geradezu fester und in den äußeren Schichten der sogenannten Photosphäre noch von sehr zäher teerartiger Konsistenz sein. In dieser in Weißglut strahlenden Masse von meist metallischen Gasen finden beständig Strömungen und Wirbel statt, indem die außen abgekühlten Partien nach innen streben, wo sie heißere Teile nach außen drängen, die ihrerseits wieder abgekühlt dieselbe Bewegung stetsfort wiederholen. Durch diese beständig sich bildenden und sich immer wieder auflösenden Verdichtungswolken erscheint die Sonnenoberfläche in den Photogrammen leicht gekörnt. Finden größere Wirbelbewegungen als gewöhnlich an der Oberfläche dieser Photosphäre statt, so erscheinen sie uns als Flecken.

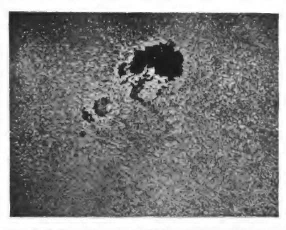


Fig. 7. Gekörnte Sonnenoberfläche mit einer von Fackeln umgebenen Fleckengruppe nach einer photographischen Aufnahme von Janssen in Meudon bei Paris am 1. Juni 1881.

Über diesem eigentlichen Sonnenkörper, der infolge seiner großen Dichtigkeit das zusammenhängende Spektrum fester Körper gibt, liegt eine verhältnismäßig dünne Schicht von rosenroter Farbe, die nur etwa 7000—9000 km hoch ist und Chromosphäre genannt wird. Sie besteht aus ausgedehnten Massen leichter Gase, der Hauptsache nach aus glühendem Wasserstoff, und ist wegen ihrer überaus geringen Dichtigkeit und ihrer gegenüber der enorm großen Hitze des eigentlichen Sonnenkörpers erheblich niedrigeren Temperatur, die allerdings an sich noch recht hoch ist, so daß sie selbst Licht aussendet, das bei Sonnenfinsternissen beispielsweise plötzlich aufblitzt, für gewöhnlich nicht sichtbar.

Digitized by Google

Man nennt sie auch die umkehrende Schicht, weil sie diejenigen Lichtstrahlen des Emissionsspektrums der Sonne, die die in ihr glühenden Elemente ausstrahlen, auslöscht und so das in ihrer Gesamtheit als Frauenhofersche Linien bezeichnete Absorptionsspektrum erzeugt (s. Fig. 3).

In dieser Chromosphäre finden noch stärkere Bewegungen der in ihr glühenden Teile als in der äußersten Schicht der Photosphäre statt. Aus ihr züngeln ganz gewaltige Flammen der leichteren in ihr glühenden Gase, die man früher nur während totaler Sonnenfinsternisse zu beobachten vermochte, neuerdings aber nach der Methode von Hale auch außerhalb derselben nicht nur nachzuweisen, sondern sogar zu photographieren vermag. Eine solche Flamme, die dieser Autor mit seinem Spektroheliographen in kurzen Zeitabständen photographiert hat, zeigen die Abbildungen der Fig. 8.

10 h. 34 m.

10 h. 40 m.

10 h. 58 m.

Fig. 8. Eruptive Protuberanz, auf dem Kenwood-Observatorium in Chicago am 25. März 1895 von Hale photographiert.

Diese hauptsächlich aus glühendem Wasserstoffgas, daneben auch aus Kalziumwolken bestehenden Dampferuptionen aus der Chromosphäre brechen wirbelsturmartig mit unvorstellbarer Gewalt bald hier, bald dort hervor und erheben sich zu ganz ungeheuren Höhen. Man hat sie schon in einer Viertelstunde mit der fabelhaften Geschwindigkeit von 350 km in der Sekunde bis zu der enormen Höhe von 500000 km, d. i. etwa dem vierten Teile des Sonnendurchmessers, über den Sonnenrand ausbrechen gesehen. Der Auftrieb, den solche Gaseruptionen zeigen, entspricht gegen 100 Millionen und mehr Atmosphären. Diese Protuberanzen genannten Gasausbrüche erreichen den höchsten Grad ihrer Ausbildung am Sonnenäquator und nehmen gegen die Pole zu,

Digitized by Google

wo die Sonnenoberfläche offenbar weniger bewegt ist, sowohl an Größe als auch an Intensität der Bewegung ab.

Über dieser rosenroten leichten Hülle von glühenden Gasen der Chromosphäre erhebt sich endlich eine Dunsthülle von viel leichteren Gasen, die heute noch das ehemalige Schicksal der Protuberanzen zeigt, nur in den Augenblicken einer totalen Sonnenfinsternis von uns beobachtet werden zu können. Diese sogenannte Korona läßt dann ihr silbergraues Licht von sehr verschiedener Ausdehnung mit häufig sehr langen Strahlenausläufern aufblitzen. Während die Protuberanzen, die aus der Chromosphäre hervorgeschleudert werden, bis auf Entfernungen von 500000 km von der Sonnenoberfläche bemerkt werden, erstreckt sich die Corona auf wenigstens 800000 km. Zeitweise aber, besonders zu Zeiten erhöhter Sonnentätigkeit, sendet sie ihre überaus feine Materie, die den durch sie hindurcheilenden Kometen keinerlei nachweisbaren Widerstand entgegensetzt, in eigentümlichen Strahlenbüscheln noch sehr viel weiter in die Umgebung der Sonne hinaus (s. Fig. 6). Ihr Spektrum weist einige typische helle Linien auf, das von einem überaus leichten Gase, noch viel leichter als Wasserstoff, herrühren muß und, weil es bis jetzt nur in ihr nachgewiesen werden konnte, als Koronium bezeichnet wird.

Durch das schon mehrfach erwähnte Dopplersche Prinzip der Linienverschiebung hat Deslandres jüngst nachgewiesen, daß auch der Strahlenkranz der Korona mit der Sonne rotiert; denn wie alle Weltkörper hat auch die Sonne außer ihrer Bewegung durch den Raum noch eine Bewegung um sich selbst, die am Äquator in 25,1 Tagen erfolgt und sich gegen die Pole zu etwas verlangsamt, so daß sie in 40° nördlicher oder südlicher Breite 27,7 Tage gebraucht. Diese Rotationszeit in sehr viel höheren Breiten zu bestimmen war bis jetzt durchaus unmöglich, indem Flecke, die uns die einzigen Anhaltspunkte dafür geben, in jenen Regionen äußerst selten und andere Gebilde, wie Fackeln und Protuberanzen zu veränderlich sind, als daß man sich auf sie verlassen könnte. Die schnellere Rotation der Sonnenmitte soll nach mathematischen Untersuchungen in Vorgängen zu suchen sein, die sich in einer, mit kosmischem Zeitmaße gemessen, sehr kurzen Vergangenheit abspielten, indem nämlich ein kleiner Planet in sie hineingestürzt sein und dadurch eine stärkere Oberflächenströmung der Äquatorialgegend hervorgebracht haben muß.

Die Sonnenumdrehung beobachten wir am leichtesten, wenn wir die Bewegungen der Sonnenflecken beobachten. Diese entstehen meist in Gruppen, in der Regel von Fackeln umgeben, die bis 6mal so hell

als die Photosphäre sind, und dauern im Mittel zwei bis drei Monate, seltener bis 1½ Jahre. Wieder andere bestehen, wenn sie ganz klein sind, nur wenige Tage oder gar nur einige Stunden. Sie stellen wirbelartige Strömungen von verhältnismäßig stark abgekühlten glühenden Gasen dar, die nach dem Sonnenzentrum zu sinken und dabei infolge ihrer gegenüber der übrigen Sonnenoberfläche herabgesetzten Temperatur unserem Auge dunkel erscheinen. Mit dem Spektroskop beobachten wir in deren sogenanntem Halbschatten nach abwärts gerichtete Gasströmungen von strahliger Struktur.

Um diese Kondensationen von kühleren Gasen, die aber an sich noch stark leuchtend sind, nur im Vergleich zur übrigen noch heißeren Sonnenoberfläche dunkel erscheinen, herum steigen die heißeren Gase aus dem Innern in Form von Fackeln in die Höhe. Und in ihrer Nähe entstehen dann, durch diese Gleichgewichtsschwankungen begünstigt, die allergewaltigsten Protuberanzen mit Geschwindigkeiten bis zu 820 km in der Sekunde, deren Bewegungen sich in die Korona fortpflanzen und in ihr oft weit in den Weltraum hinausgehende Strahlungen hervorrufen. An der Basis dieser um die Flecken herum auftretenden Protuberanzen sieht man meist glühende Metalldämpfe beigemischt, während gegen die Spitze zu nur die allerleichtesten Elemente, wie Wasserstoff und Helium, zuletzt nur Koronium ausstrahlen.

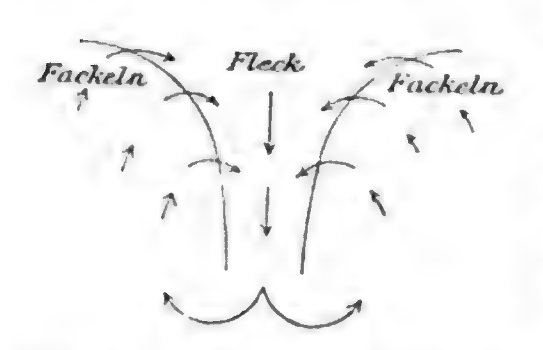


Fig. 9. Schema zur Erklärung der Wirbel glühender Gase an der Sonnenoberfläche, welche die Sonnenflecke und darum herum die Sonnenfackeln erzeugen.

Diese Sonnenflecken, die oft den Durchmesser unserer Erde um ein Vielfaches übertreffen, treten, soviel wir wissen, nie an den allerheißesten blauweißen Sonnen, sondern erst an den gelben, wie unsere Sonne eine ist, gehäufter aber noch an den roten Sonnen auf und sind ein Zeichen fortgeschrittener Abkühlung. Sie treten mit den Fackeln in den Äquatorialgegenden am häufigsten, und zwar mehr auf der südlichen Hemisphäre auf. Sie zeigen mit allen übrigen Vorgängen, die wir an der Sonnenoberfläche zu beobachten vermögen, eine elfjährige Periodizität und sind jedenfalls nur ganz ausnahmsweise, wie Ernst Stephani glaubt, durch auf die Sonne stürzende große Meteoriten erzeugt, die, um sichtbare Flecken hervorzurufen, von riesiger Größe sein müßten. Immerhin ist mit dieser Möglichkeit zu rechnen; denn es gibt gewaltige

Mengen Weltenstaubes im Kosmos, die von den Sonnen angezogen werden und in sie hineinstürzen. Sehr viel wahrscheinlicher ist die Annahme von Emile Anceaux, wonach die Sonnenflecken als mittelbare Folgen des Auftretens von Ebbe und Flut durch die gemeinsame anziehende Wirkung der Planeten, besonders von Jupiter, Venus und Erde, auf dem Sonnenkörper hervorgerufen werden. Diese dreifachen Gezeiten würden auch mit der elfjährigen Periode der Häufigkeit von Sonnenflecken übereinstimmen, indem in gleichen Zeitabschnitten die Stellungen dieser drei Planeten nahe zusammenfallen und so durch Summierung der Wirkung stärkere Gezeiten hervorrufen.

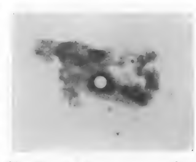


Fig. 10. Umfang der großen Sonnenflecken vom März 1905 von etwa 117000 km Durchmesser im Verhältnis zur Erde, die als weiße Scheibe in entsprechender Größe hineingezeichnet wurde.

Da das Sonnenspektrum nur von den äußersten Schichten der Sonne geliefert wird, so fehlen in ihm begreiflicherweise alle schweren Elemente, die im Innern der Feuerkugel lagern müssen. So entgehen unserer Erkenntnis nicht nur die schweren Metalle, wie Antimon, Gold, Platin, Quecksilber, Blei und Wismut, sondern sogar die Metalloide, wie Stickstoff, Chlor, Brom, Jod, Fluor, Schwefel, Selen, Tellur, Phosphor, Arsen und Bor. Die übrigen Elemente sind so ziemlich alle in der Sonne nachgewiesen worden. Jedenfalls wissen wir mit Bestimmtheit, daß die chemische Zusammensetzung der Sonne, wie aller Sonnen überhaupt, keine wesentliche Verschiedenheit von derjenigen unserer Erde zeigt, obschon eine große Zahl von Frauenhoferschen Linien infolge der dort gegenüber hier herrschenden ganz anderen physischen Verhältnisse bis heute noch nicht aufgeklärt sind. Da alle Vorgänge in der Biosphäre unserer Erde direkt von den Vorgängen auf der Sonne abhängig sind, ist es kein Wunder, daß zur Zeit eines Sonnenfleckenmaximums bei uns vermehrte Bewölkung und gesteigerte Niederschläge als Zeichen verminderter Wärme- und Lichtabgabe eintreten, wie auch in den eruptionsreichen Jahren der Sonne mehr Polarlichter und magnetische Stürme auf Erden auftreten als in Zeiten, wo die Sonnenoberfläche gleichmäßig hell erscheint. Das elfjährige Pulsieren der Sonnentätigkeit gleicht sich aber immer

wieder aus, so daß die Sonnentemperatur und die Menge der von ihr gelieferten Energie immer dieselbe bleibt und das Leben auf ihren Trabanten noch für unabsehbare Zeiten gesichert erscheint.

Unter allen Planeten ist, soweit unsere Kenntnis des Sonnensystems gegenwärtig reicht, Merkur der nächste an der Sonne. Er ist der kleinste aller Hauptplaneten, hat einen Durchmesser von nur 4780 km, ist also fast dreimal kleiner als unsere Erde und nur wenig größer als unser Mond. Seine Oberfläche ist siebenmal kleiner als diejenige unserer Erde, die 18 bis 19 Kugeln von seiner Größe in ihrem hohl gedachten Inneren aufnehmen könnte. Seine mittlere Entfernung oder die halbe große Achse seiner Bahnellipse beträgt 0,387 des mittleren Abstandes der Erde von der Sonne oder fast 82 Halbmesser der Sonne, d. h. nach irdischem Maße 57,4 Millionen km.

Seine Bahn ist von den Bahnen aller übrigen Hauptplaneten durch eine starke Neigung von 7° und eine sehr beträchtliche Exzentrizität ausgezeichnet. Infolge des letzteren Umstandes ist der wahre Abstand des Planeten von der Sonne sehr veränderlich. Während Merkur in der Sonnennähe seinem Zentralkörper bis auf 45 Millionen km nahekommt, entfernt er sich von ihm im entgegengesetzten Punkte seiner Bahn bis zu 69 Millionen km. In entsprechendem Maße verändert sich auch seine Geschwindigkeit, die im Durchschnitt 47 km in der Sekunde beträgt; in der Sonnennähe steigt sie auf 58 km, in der Sonnenferne dagegen sinkt sie auf 38 km in der Sekunde herab. Einen ganzen Umlauf um die Sonne vollendet er in 87 Tagen 23 Stunden 15 Minuten.

Wie unser Mond sich während eines Umlaufs um die Erde genau einmal um sich selbst dreht und so der Erde stets dieselbe Seite zukehrt, so macht es vermutlich auch Merkur der Sonne gegenüber. Wie dort scheint hier durch die starke Anziehung des Zentralkörpers die Eigenrotation des Trabanten so stark gebremst und nach und nach verlangsamt worden zu sein, daß jetzt ein Umlauf um das Zentrum genau mit einer Drehung um seine Achse zusammenfällt. Immerhin steht diese zuerst von Schiaparelli in Mailand aufgestellte Behauptung, wegen der überaus schwierigen Beobachtung des Merkur, nicht außer allem Zweifel, und neuerdings will Leo Brenner in Lussinpicolo eine Eigenrotation von etwa 34 Stunden beobachtet haben. Auch seine vollkommene Atmosphärenlosigkeit, die er mit unserem Monde teilen würde, ist zweifelhaft, indem verschiedenes dafür spricht, daß noch eine, wenn auch recht unbedeutende Lufthülle um ihn vorhanden sein muß. Aber auch dann, wenn wir noch eine relativ schnellere Eigendrehung und

eine dünne Atmosphäre auf ihm als vorhanden annehmen, so ist schon seine überaus große Nähe bei der Sonne für Leben, wie wir es kennen, höchst ungünstig. Sollte er der Sonne stets dieselbe Seite zudrehen, so wäre es vollkommen ausgeschlossen, daß er von irgend welchen Lebewesen bewohnt sein könnte; denn während die eine Seite beständig von den versengenden Strahlen der überaus nahen Sonne erhitzt wird, erschauert die andere, von keiner oder doch nur überaus schwacher, schützender Lufthülle bedeckt, in ewigem Frost. Dort herrscht eine Hitze, die man auf 379° C. berechnet hat, hier dagegen eine Temperatur, die nur wenige Grade über dem absoluten Nullpunkt liegen kann. Infolge der sehr geringen Atmosphäre ist nur ein schwacher Ausgleich der Temperaturunterschiede möglich.

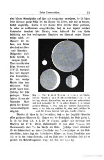


Fig. 11. Der Planet Venus in seinen verschiedenen Phasen und Größenverhältnissen: 1. in der sog. oberen Konjunktion, wo er uns am entferntesten und voll beleuchtet ist, 2. im ersten Viertel, 3. in seinem größten Glanze, 4. kurz nach der unteren Konjunktion, wenn er der Erde am nächsten ist, aber, weil zwischen ihr und die Sonne tretend, fast ganz dunkel erscheint.

Merkur ist schon so stark verdichtet, daß er der spezifisch schwerste aller größeren Planeten ist. Setzen wir die Dichtigkeit der Erde gleich 1, so ist die seine 0,8, d. h. sie ist 4½mal größer als diejenige des Wassers bei 4° C. Seine Gesamtmasse ist nur etwa ¹/₅₀₀₀₀₀₀ der Sonnenmasse oder ¹/₁₅ der Masse der Erde. Infolge seiner Kleinheit ist die Schwerkraft an seiner Oberfläche nur ¹/₃ derjenigen an der Erdoberfläche; daher legt ein fallender Körper an seiner Oberfläche nur 1,5 m in der ersten Sekunde, auf der Erde aber in derselben Zeit 4,9 m zurück; ein Erdenkilogramm wiegt auf ihm nur 0,44 kg.

Merkur gehört zu der Fünfzahl der Planeten, die schon in der ältesten Zeit bekannt waren. Da er aber infolge seiner geringen Elongation nur schwach aus dem Lichtglanz der Sonne heraustritt und dann sehr nahe am Horizonte steht, so bleibt er in der Regel in den atmosphärischen Dünsten der Erde verborgen. Der große Kopernikus soll es noch auf seinem Totenbette bedauert haben, daß er diesen Planeten in seinem ganzen Leben nur ein einziges Mal zu Gesicht bekam.

Ganz anders liegen die Verhältnisse beim zweitnächsten Planeten von der Sonne aus gerechnet, bei Venus, der als Morgen- oder Abendstern aller Welt bekannt ist. Auch er ist eine dunkle, von der Sonne beschienene und wie unser Mond alle Phasen zeigende Kugel, die nur sehr wenig kleiner als unsere Erde ist. Sie besitzt 0,8 der Erdmasse und einen Durchmesser von 12 400 km, während die Erde 12 756 km aufweist. In ihrem Entwicklungsprozeß muß sie weniger weit als die ältere Erde vorgeschritten sein. Ihre mittlere Dichtigkeit ist fast so groß wie diejenige des Merkur und nur $^1/_5$ geringer als die der Erde. Der Fallraum eines Körpers an ihrer Oberfläche beträgt in der ersten Sekunde 3,9 m; ein Erdenkilogramm wiegt auf ihr 0,80 kg.

Venus bewegt sich in einer Bahn um die Sonne, welche weniger als die irgend eines andern der Hauptplaneten von der Kreisform abweicht. Die Exzentrizität derselben beträgt nur 0,0068, und da die halbe große Achse eine Länge von 0,723 oder 107,2 Millionen km besitzt, so bleibt der Abstand des Planeten von der Sonne in den engen Grenzen von 106,5 Millionen km im Perihel und 107,9 Millionen km im Aphel eingeschlossen. Infolgedessen ist ihre Geschwindigkeit nur wenig veränderlich und schwankt zwischen 34,5 km in der Sonnenferne und 34,9 km in der Sonnennähe. Zu einem Umlauf um die Sonne gebraucht sie 224 Tage 16 Stunden und 49 Minuten. So lange dauert also das Venusjahr. Der Venustag dagegen ist sehr wenig von 24 irdischen Stunden verschieden, also fast identisch mit dem Erdentage.

Der große Glanz, den Venus besonders in der Erdnähe ausstrahlt, in Verbindung mit den Ergebnissen der spektroskopischen Untersuchung lassen es zweifellos erscheinen, daß dieser Planet von einer sehr dichten, stark wasserdampfhaltigen Atmosphäre umgeben ist, die uns nicht gestattet, auf seine feste Oberfläche zu sehen. Immerhin glaubt man, weiße Flächen an den Polen und hohe schneebedeckte Berge durch den Wolkenschleier hindurch beobachtet zu haben, der die übergroße Wärme der nahen Sonne so ausgiebig abhält, daß sicher organisches Leben, vermutlich nur nicht so weit entwickelt wie auf unserer älteren

Erde, auf diesem Planeten vorhanden sein muß. Die dort lebende Pflanzen- und Tierwelt mag, wenn sie überhaupt in ähnlicher Weise wie bei uns entwickelt ist, was ja möglich, aber nicht notwendig der Fall sein muß, etwa derjenigen der Kohlenformation auf unserer Erde entsprechen, während welcher auch eine dichte Wolkenhülle unseren Planeten umgab und in einer feuchtwarmen Treibhausluft niedere Kryptogamen und Lurche aller Art das von weiten Sümpfen durchzogene Land besiedelt hatten.

Wie auf der Erde gibt es auch auf Venus Tag und Nacht, Kälte und Wärme, Wind und Wetter, Festland und Wasser, ja ebenso Polarlichter durch elektrische Erregung der verdünnten Luft der höheren Regionen der Atmosphäre, die wie bei uns in Zeiten erhöhter Unruhe auf der Sonne in Form von Lichtscheinen auf der dunkeln Nachtseite beobachtet werden. Venus ist also ganz das Ebenbild der Erde, wie sie etwa zu Beginn der Zeit der höheren Pflanzen- und Tierentwicklung war. Nur etwas fehlt ihr, um die Erdähnlichkeit zu vervollständigen, ein Mond, deren unser nächster Nachbar außerhalb der Erdbahn, Mars, sogar zwei besitzt. Asaph Hall war so glücklich, sie am 11. August 1877 mit Hilfe des damals noch größten Refraktors in Washington zu entdecken. Als Begleiter des wegen seiner an Blut erinnernden rötlichen Farbe mit dem Namen des Kriegsgottes belegten Planeten, hat man sie Deimos und Phobos d. h. Furcht und Schrecken benannt. Es sind bei weitem die kleinsten beständigen Himmelskörper, die wir kennen. Phobos hat nur $9^1/_2$ und Deimos gar nur 8 km Durchmesser. Ihre Oberfläche wird also kaum 300 qkm umfassen. Der Abstand des dem Mars nächsten Mondes ist kaum so groß wie die Entfernung von Berlin bis New York, und er erscheint von dort zehnmal kleiner als unser Mond, während sein fernerer Begleiter nicht viel größer als etwa Venus von der Erde aus betrachtet erscheinen muß. Der innerste Marsmond steht genau drei Durchmesser des Planeten, der äußere dagegen fünf solcher vom Mars ab. Sie bewegen sich in 7 Stunden 39 Minuten 13 Sekunden, beziehungsweise in 30 Stunden 17 Minuten 54 Sekunden einmal um ihn. Da Phobos dreimal schneller um den Planeten herumläuft, als dieser sich um seine Achse dreht, so gewährt er den Marsbewohnern das merkwürdige Schauspiel, daß er im Gegensatz zu Deimos, der im Osten aufgeht und im Westen untergeht, im Westen auf- und im Osten untergeht und alle zehn Stunden seinen Nebenmond überholt.

Weit besser als Venus kennen wir Mars, den ersten in der Reihe

der Planeten, den wir auch am Nachthimmel zu sehen vermögen. Er ist nächst Merkur der kleinste der Hauptplaneten. Sein Durchmesser beträgt 6740 km, d. h. Mars ist etwa halb so groß als unsere Erde und noch einmal so groß als der Mond. Seine Oberfläche umfaßt nicht ganz $^1/_3$ des Areals der Erde. In seiner Opposition zur Sonne nähert er sich uns im besten Falle bis auf 75 Millionen km und ist dann am besten zu beobachten; in seiner Konjunktion dagegen entfernt er sich von uns bis auf 375 Millionen km. Zwischen je zwei Oppositionen verfließen durchschnittlich zwei Jahre 49 Tage; das bezeichnet man als seine synodische Umlaufszeit.

Auch Mars leuchtet, wie der Wechsel seiner Lichtgestalten andeutet, in reflektiertem Sonnenlichte, und zwar sendet er uns in der Erdnähe fast viermal so viel Licht als in der Erdferne zu. Seine lichtreflektierende Kraft ist mehr als doppelt so groß als die des Merkur, dagegen kaum die Hälfte derjenigen der Venus. Seine mittlere Entfernung ist 1,524mal größer als die der Erde oder nahe an 226 Millionen km, doch schwankt sie wegen der beträchtlichen Exzentrizität seiner Bahn von 0,093, der nach derjenigen von Merkur größten im System der Hauptplaneten, von 205 Millionen km in der Sonnennähe bis 247 Millionen km in der Sonnenferne. Durchschnittlich legt er 24 km in der Sekunde zurück und vollendet einen ganzen Umlauf um die Sonne in 1 Jahr 321 Tagen 23 Stunden 31 Minuten. Wie die Erde ist er an den Polen etwas abgeflacht und bewegt sich in 24 Stunden 37 Minuten 22,59 Sekunden einmal um sich selbst. Der Marstag ist also nur $37^1/_3$ Minuten länger als unser Erdentag. Seine Masse ist nur etwa $^1/_{10}$ der Erdmasse. Hienach ist seine Dichtigkeit nur 0,71 derjenigen der Erde oder etwa viermal so groß als die des Wassers. Die Schwerkraft an seiner Oberfläche beträgt 0,38, wenn wir die am Erdäquator gleich 1 setzen, d. h. auf der Marsoberfläche ist der Fallraum eines Körpers in der ersten Sekunde nicht 4,9 m wie auf der Erde, sondern nur 1,9 m, wie auch ein Erdenkilogramm auf jener so viel kleineren Welt als die unsrige nur 0,38 kg wiegt.

Die Neigung der Umdrehungsachse des Planeten gegen die Bahnebene beträgt 25° 12′, ist also nur wenig stärker als diejenige der Erde, welche 23° 37′ beträgt. Daraus folgt, daß auf dem Mars in derselben Weise wie auf der Erde nicht nur Tag und Nacht, sondern auch die einzelnen Jahreszeiten aufeinander folgen.

Mars ist älter und weiter in der Entwicklung fortgeschritten als die Erde. Er zeigt uns, wie die Erde nach vielen Millionen Jahren

einst sein wird, wie Venus uns zeigt, wie die Erde etwa ausgesehen haben mag, als sie noch eine viel dichtere Atmosphäre besaß. Bei Mars ist die Atmosphäre eine ganz durchsichtige, nicht sehr wasserdampfreiche; infolgedessen bilden sich auf ihm nur wenig Wolken und Niederschläge.

Wie die Pole des Mars gleich denjenigen unserer Erde mit Schneekappen bedeckt sind, so schneit es auf ihm im Winter wie bei uns, und die Astronomen vergessen nicht, durch die Zeitungen jedermann davon Kunde zu geben. So hat Percival Lowell beispielsweise am 25. Mai 1905 den ersten Schneefall der Südhemisphäre des Mars gemeldet und berichtet, daß weite Strecken um den Südpol mit frischgefallenem Schnee

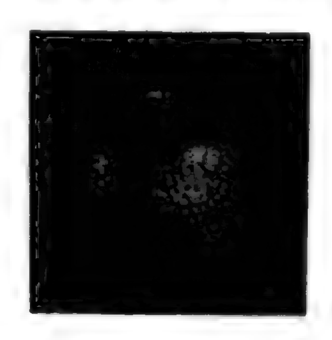


Fig. 12. Photographische Aufnahme des Planeten Mars vom 11. Mai 1905 durch den unermüdlichen Marsforscher P. Lowell. Die beiden Eiskappen der Pole, wie die dunkeln Meere und das helle Festland sind ganz deutlich zu erkennen. Im umkehrenden Fernrohre betrachtet, beginnt auf dem oben stehenden Südpol der Winter, während der unten befindliche Nordpol Sommeranfang zeigt und seine Schneebedeckung auf ein Minimum zu reduzieren anfängt. In der Mitte sieht man von Süden nach Norden die große Syrte (Syrtis major) mit der sich nach rechts wendenden Nilosyrtis (s. folg. Fig.) verlaufen, ebenso Andeutungen von schmalen Marskanälen, soweit es eben das Korn der photographischen Platte gestattet. Im ganzen wurden während der letzten Marsopposition etwa 700 solcher Marsphotogramme von der Lowellsternwarte aufgenommen, die vor zehn Jahren in Arizona (N.-A.) auf dem großen Hochplateau, durch welches der Coloradofluß strömt, in einer Höhe von etwa 2000 m über dem Meere von Percival Lowell gegründet wurde, weil seine Lage durch eine besonders gute Luftbeschaffenheit ausgezeichnet ist.

bedeckt seien. Bei der Schneeschmelze im Frühling schwindet dann die Schneebedeckung ein gutes Stück gegen den betreffenden Pol zu. Dabei erfreuen sich die Bewohner der nördlichen Halbkugel eines langen und gemäßigten Sommers und eines kurzen, milden Winters, da infolge der gegenüber der Erde fast sechsmal größeren Exzentrizität auf der nördlichen Marshemisphäre Frühling und Sommer um 73 Marstage länger, auf der südlichen um ebensoviel kürzer als Herbst und Winter sind, und infolge der etwas größeren Neigung gegen die Ekliptik auf jener die jährlichen Temperaturunterschiede gemäßigt, auf dieser dagegen verstärkt werden müssen. Umgekehrt wie die Bewohner der Nordhalbkugel haben diejenigen der Südhalbkugel des Mars einen langen und strengen Winter und einen kurzen heißen Sommer. Wie auf der Erde,

ist es auch auf der Südhemisphäre des Mars Winter, wenn er in Sonnennähe ist.

Deutlich ist auf Mars der Jahreszeitenwechsel an der verschiedenen Färbung der Landoberfläche zu erkennen, welche auf der Sommerseite dunkler, auf der Winterseite dagegen heller ist. Infolge der geringen Wasserniederschläge ist das Land im ganzen trocken und im Innern nur von einer schwachen Vegetation bedeckt. Große Gebiete des Mars sind geradezu Wüsten, woher seine rötliche Farbe herrührt. Bedeutende Landerhebungen sind auf ihm nicht mehr vorhanden, da das fließende Wasser darauf längst alle Berge abgetragen hat. Das niedere Flachland ist zwar von ausgedehnten, aber nur seichten Wasserbecken eingefaßt, die nach der Schneeschmelze das meiste Wasser aufweisen, gegen den Herbst hin aber teilweise austrocknen.

Das Wasser ist auf dem Mars dadurch einigermaßen spärlich geworden, daß die Gesteine das meiste davon durch sogenannte Hydratisierung gebunden haben. Den gleichen Prozeß beobachten wir auf der Erde, wo sich mit zunehmender Abkühlung der Rinde alle Gesteine bis in die größten Tiefen mit Wasser vollsaugen und es freiwillig nicht wieder hergeben. Dieser Prozeß ist auf dem Mond, der einen bedeutend späteren Zustand als der Mars darstellt, noch viel weiter fortgeschritten. Dort ist die Hydrosphäre wie auch die Atmosphäre schon ganz vom festen Gestein aufgeschluckt worden, so daß weder Seen, noch Flüsse, noch Wolken auf ihm zu finden sind. Nur Spuren der ersteren erblicken wir auf dem Mond. Daß einst auch auf ihm reichlich Wasser vorhanden war, das beweisen vor allem die Mondkrater, die, heute leergebrannt, vormals aber eine kräftige vulkanische Tätigkeit, die ohne Wasser- und Gasausbrüche ganz undenkbar ist, besessen haben müssen.

Das Klima muß auf Mars wenig schroff, aber im ganzen schon wegen der geringeren Zufuhr von Sonnenwärme, kühl sein und sich im allgemeinen nur wenig über den Gefrierpunkt des Wassers erheben. Infolge der geringen Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht hat das Wasser seine erodierende Wirkung, die am größten bei Schwankungen um den Gefrierpunkt ist, zum größten Teil eingebüßt, so daß die Veränderungen durch Wassereinwirkung an seiner Oberfläche höchst unbedeutend sein müssen.

Beim Studium der Oberfläche des Mars sehen wir, daß im Gegensatz zur Erde, bei welcher die Landoberfläche nur etwa 26,6 Prozent der Kugel bedeckt, bei Mars das Land über das Meer weit vorherrscht, daß auch seine tiefsten Meere mit Sedimenten aufgefüllt und infolge

davon aus ihnen ganz seichte Wasseransammlungen geworden sind. Wie auf der Erde ist auch auf dem Mars die Nordhemisphäre hauptsächlich von Festland eingenommen und besitzt wenig Wasserbecken, während umgekehrt die Südhemisphäre fast ganz von seichten Meeren bedeckt ist. Kontinente, wie auf der Erde, gibt es auf Mars überhaupt nicht mehr. Die ganze Nordhalbkugel besteht fast nur aus einer zusammenhängenden Landmasse, die sich weit gegen den Süden hinzieht, wo um den Südpol herum das einzige große und tiefe Meer des Mars vorhanden ist. Die beständig tiefblauen Gebiete nehmen einen sehr geringen Raum ein; zu diesen gehört vornehmlich die große Syrte genannte, nach Süden offene Meerbucht, die eine der auffallendsten Gebilde auf dem Mars ist. Durch das Festland sieht man von den bei der Schneeschmelze eine ziemliche Wassermenge liefernden Polen her zu kleineren und größeren, oft abgerundeten Wasseransammlungen merkwürdige gerade, wie mit dem Lineal gezogene äußerst feine Linien als kürzeste Verbindungen zwischen größeren Wasseransammlungen verlaufen. Es sind dies die Marskanäle, welche, um überhaupt sichtbar zu werden, mindestens 60 km breit sein müssen, also keine Kanäle in unserem irdischen Sinne sein können.

Da nirgends im ganzen Weltgeschehen schnurgerade Linien wie hier, die zudem so zweckmäßig von Wasseransammlung zu Wasseransammlung verlaufen, von selbst sich bilden, so ist der Gedanke nicht von der Hand zu weisen, daß diese sogenannten Marskanäle durch *denkende Wesen*, und zwar von hoher Intelligenz geschaffen seien. Nicht in dem Sinne, als ob die Marsbewohner, die vermutlich als weiter in der Entwicklung fortgeschritten, auch weit bessere technische Hilfsmittel wie wir besitzen müssen, imstande gewesen seien, Kanäle von 60 und mehr Kilometer Breite zu graben und darein das Wasser zu irgendwelchen Zwecken zu leiten. Solche technische Kunststücke darf man wohl niemand zumuten.

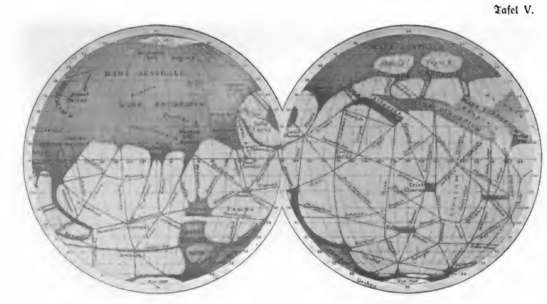
Diese Kanäle sind eben keine Wasserstraßen, sondern *eingedeichte Strecken von Kulturland*, die durch die unfruchtbaren Wüsten dahinziehen. Zwei Erdwälle von geringer Höhe, bei denen es gleichgültig ist, ob sie 1 oder 60 km voneinander entfernt aufgeführt werden, genügen, um das spärliche Wasser, das hauptsächlich von der Schneeschmelze frei wird, zu den Kulturen zu führen, die durch ihre dunkel werdende Färbung anzeigen, daß sie nach der Wasserzufuhr ergrünen. Diese Erdarbeiten können die Marsbewohner um so leichter leisten, als auf Mars vermöge seiner kleinern Masse, nur ein Drittel der Kraft, die

wir Menschen bei unseren Arbeiten aufzuwenden haben, nötig ist, um die gleichen Leistungen zu vollbringen.

Percival Lowell, der sich auf seinem sehr günstig gelegenen Observatorium zu Flagstaff in Arizona dem Studium des Mars hingebend widmet, hat an 85 Kanälen, deren er jeden durchschnittlich hundertmal geprüft hat, hinsichtlich ihrer Veränderung nach den Jahreszeiten des Planeten folgendes feststellen können: Die in gleicher Breite gelegenen Marskanäle ändern ihre Sichtbarkeit in derselben Weise, und zwar tritt, wenn man vom Nordpol zum Äquator fortschreitet, das Minimum der Sichtbarkeit immer später ein. Es spricht sich in der äußeren Erscheinung der Kanäle eine ebenso deutliche jahreszeitliche Änderung aus, wie man sie bei den hellen Polarflecken als Zu- und Abnahme schon längst kennt. Die Kanäle werden um so schlechtersichtbar, je weiter die Sonne nach Norden fortschreitet. Nach der Sonnenwende werden sie wieder besser sichtbar, und zwar zunächst die nördlichsten und erst allmählich, fast gleichmäßig zum Äquator fortschreitend, die südlicheren.

Hierin sieht Lowell eine gute Stütze für die von Pickering zuerst geäußerte Ansicht, daß die Kanäle auf dem Mars Streifen pflanzlicher Entwicklung seien, die durch das Schmelzwasser des Polarschnees stets neu belebt würden. Da das Wasser aber nach seiner Ansicht nicht notwendig infolge der Gestalt des Mars dem Äquator zufließe, sondern durch bestimmte Absichten damit verfolgende Intelligenzen dahin geleitet werde, so müßten die Kanäle unbedingt künstlichen Ursprungs sein. Eine andere Annahme sei schlechterdings unmöglich.

Die Marsbewohner, wenn man so sagen darf, haben sich, wie auch wir Menschen unter den obwaltenden Umständen es tun würden, auf den der Bewässerung zugänglichen Gebieten angesiedelt, pflanzen dort ihre Nährfrüchte und lassen die sterile Wüste, auf die nur ausnahmsweise Regen fallen mag, unbewohnt. Das ist ja ganz folgerichtig und erklärt sich aus sich selbst ohne irgendwelche Schwierigkeiten. Vielfach haben sogar manche Astronomen diese überaus zarten und sich vielfach kreuzenden Marskanäle als optische Täuschungen aufgefaßt und demnach ihr tatsächliches Vorhandensein geleugnet. Diese Skeptiker hat aber die photographische Platte eines besseren belehrt, indem es den Marsforschern Lowell und Lampland im Juni 1905 zum ersten Male gelang, einwandfreie Photogramme vom Kanalsystem des Mars zu erhalten und somit deren reales Vorhandensein nachzuweisen. Allerdings scheint die manchmal zu beobachtende Verdoppelung der Kanäle auf optischer Täuschung durch



Karte des Planeten Mars und seiner Kanäle nach den Beobachtungen von Schiaparelli in Mailand während der Jahre 1877 bis 1888. Da der Planet durch das umkehrende Fernrohr studiert wurde, ist der Südpol oben und der Nordpol unten angegeben. Die Bezeichnungen sind lateinisch. Nix bedeutet Schnee, mare Meer, sinus Meerbusen, lacus See, insula Insel.

Digitized by Google

Spiegelungen über den erhitzten Wüstenstrecken zu beruhen; man hat das Phänomen tatsächlich künstlich nachahmen können.

Außerhalb der Marsbahn, da wo schon Kepler in seinen frühesten Spekulationen über den Weltbau einen unbekannten Planeten vermutete und wo nach der Titius-Bodeschen Zahlenreihe eine auffallende Lücke sich zeigte, bewegen sich die zahlreichen Planetoiden oder kleinen Planeten. Den ersten derselben, Ceres, fand Joseph Piazzi am 1. Januar 1801 in Palermo als einen scheinbaren Stern achter Größe, der sich aber durch seine Ortsbewegung als kleiner Planet offenbarte. Am 28. März 1802 wurden dann Pallas, am 1. September 1804 Juno, am 29. März 1807 Vesta als gleich winzige Planetchen entdeckt. Erst nach 38 Jahren kam zu dieser Vierzahl als fünfter Planetoid Asträa als scheinbares Sternchen zehnter Größe, dann zwei Jahre später Hebe, und in der Folge entwickelte sich unter den Astronomen eine allgemeine Jagd nach diesen winzigen, an der Grenze der Sichtbarkeit stehenden Himmelskörpern, die auch in den besten Fernrohren als feinste Lichtpunkte ohne meßbare Ausdehnung erscheinen, sich also von den Fixsternen nur durch ihre raschere Bewegung unterscheiden.

Im Jahre 1860 waren 62, im Jahre 1870 122, im Jahre 1880 229 Planetoiden bekannt. Bis zum 1. Januar 1901 war ihre Zahl schon auf 458 gestiegen, und heute sind es deren über 550, und noch ist kein Ende abzusehen. Im Gegenteil, je schärfer unsere Beobachtungsmethoden werden, um so mehr finden wir deren am Himmel. So sind in den ersten drei Monaten des Jahres 1906 44 neue Planetoiden gefunden worden, davon 39 durch das astrophysikalische Observatorium Königsstuhl bei Heidelberg, wo Max Wolf mit seinen Mitarbeitern durch photographische Daueraufnahmen der Ekliptik, durch welche diese winzigen Wandelsterne hindurchziehen, den Planetoidenfang systematisch mit großem Erfolge betreibt. Alle diese äußerst lichtschwachen Körper, die höchstens in 13. oder 14. Größe erscheinen, erschweren durch ihre Winzigkeit die Beschaffung des für ihre Bahnbestimmung erforderlichen genauen und möglichst umfangreichen Beobachtungsmaterials aufs höchste, so daß das Verlorengehen einer mehr oder weniger großen Anzahl der Neuentdeckten ganz unvermeidlich ist. Außerdem ist es oft schwierig zu entscheiden, ob der gefundene winzige Planet nicht einer der unzähligen bereits bekannten ist, deren jeweiliger Standort genau ausgerechnet werden muß. Ihre große Zahl ist ein bedenkliches Kreuz für die rechnenden Astronomen geworden. Schon der erste derselben, Ceres,

ging sechs Wochen nach der Auffindung verloren, indem er in der blendenden Strahlung der Sonne verschwand. Auch in der Folge blieb er unauffindbar, bis der erst 24 jährige geniale Mathematiker Karl Friedrich Gauß, der eben sein akademisches Studium beendet hatte, nach dem dürftigen von Piazzi beobachteten Bahnstückchen, den Ort, wo er zu finden war, durch Rechnung bestimmte. Darauf wurde er am 7. Dezember 1801 von Zach und unabhängig davon am 1. Januar 1802 von dem Bremer Arzt und Astronomen Olbers aufgefunden. Er kreist in einer mittleren Entfernung von 407 Millionen km um die Sonne. Auch die Bahnen der drei bald darauf entdeckten Planetoiden hat Gauß durch die Rechnung bestimmt.

Nur zwölf von den bis zum 1. Januar 1901 bekannt gewordenen Planetoiden sind achter Größe, was einem Durchmesser von mehr als 250 km entspricht. Von diesen sind die größten Ceres mit 767 km, Pallas mit 489 km und Vesta mit 385 km Durchmesser. Solche zehnter Größe gibt es etwa 60, solcher elfter Größe etwa 120 und jede folgende Größenklasse scheint mindestens doppelt so viel Planetoiden als die vorhergehende zu haben. Diejenigen 15. Größe, deren es nach obiger Rechnungsweise über 1900 geben muß, sind schon so klein, daß sie das Auge selbst bei den stärksten Vergrößerungen nicht mehr wahrzunehmen vermag. Einen so schwachen Lichteindruck erfaßt nur die höchst lichtempfindliche photographische Platte durch Summierung der kleinsten Lichteindrücke. Deshalb werden diese alle stets nur auf photographischem Wege durch Daueraufnahmen von Teilen der Ekliptik entdeckt, indem sie auf der Platte entgegen den Fixsternen, die nur Punkte bilden, einen außerordentlich feinen kurzen Strich infolge ihrer verhältnismäßig raschen Bewegung durch den Raum erzeugen.

Daß man so kleine, nur in reflektiertem Sonnenlichte leuchtende Körper von bloß etwa 15 km Durchmesser auf so große Entfernungen hin, wenn auch nur mit der photographischen Platte in Verbindung mit den stärksten Fernrohren, überhaupt hat auffinden können, ist ganz wunderbar; denn nach den Angaben von A. Berberich vom Recheninstitute der Berliner Sternwarte entspricht beispielsweise die Wahrnehmbarkeit der Agathe, der man nur einen Durchmesser von etwa 14 km zuschreibt, der Sichtbarkeit einer gewöhnlichen Billardkugel in der Entfernung Berlin—Köln a. Rh., und das will doch gewiß etwas heißen. Die Masse der bisher entdeckten Planetoiden, die jedenfalls alle schon längst ihre Atmosphäre eingebüßt haben, beträgt nur etwa $^1/_{10}$ der Mondmasse. Nimmt man die Dichtigkeit derselben gleich der-

jenigen des Mondes an, so müßte nach der bisher unerklärten säkularen Verschiebung des Marsperihels die Summe der diese Störung des Marsumlaufes bewirkenden, außerhalb von ihm in den Planetoidenbahnen kreisenden Körper nach Newcomb über 50mal größer sein, nämlich mindestens fünf Mondmassen betragen. Einen viel größeren Betrag hat Paul Harzer gefunden, der die störende Masse auf 13 Mondmassen berechnet. Es muß also die weitaus größte Zahl der Planetoiden für uns vollkommen unsichtbar in Gestalt von meist ganz winzigen Planetchen, wie wir deren bald im Ringe des Saturn kennen lernen werden, bis zu der Größe von Meteoren in einem breiten Ringe zerstreut, ein jedes selbständig für sich um die Sonne laufen. Nur die allergrößten derselben sind für uns wahrnehmbar und kreisen in 1139 bis 2867 Tagen um die Sonne. Die kleineren sehen wir überhaupt nicht; nur können wir vermuten, daß es deren nicht nur einige Tausende, sondern vermutlich Millionen gibt.

In dieser zahllosen Schar von kleinen und allerkleinsten Planeten ist der am 13. August 1898 als 433. Planetoid von G. Witt an der Uraniasternwarte in Berlin entdeckte Eros derjenige, der sich in seiner Sonnennähe der Erde am allermeisten nähert und demgemäß die größte tägliche Bewegung unter allen Planetoiden zeigt. Seine Bahn verläuft im Perihel sogar innerhalb der Marsbahn. Von letzterer haben wir gesehen, daß sie einen mittleren Halbmesser von nahezu 266 Millionen km hat, der wegen der beträchtlichen Exzentrizität zwischen 205 Millionen km in der Sonnennähe und 247 Millionen km in der Sonnenferne schwankt. Nun beträgt zwar die mittlere Entfernung des Eros von der Sonne 218¼ Millionen km, sinkt aber in Sonnennähe auf 170½ Millionen km herab und steigt in Sonnenferne dagegen auf 263 Millionen km.

Im Gegensatz zum sonnennächsten Planetoiden Eros glaubte man bis vor kurzem in dem Planetoiden Nr. 279 das am weitesten von der Sonne abstehende Glied der uns bis jetzt bekannten Mitglieder der Planetoidenfamilie vor sich zu haben, weshalb man ihm den Namen Thule gab. Seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt 636¾ Millionen km, in der Sonnenferne aber entfernt er sich bis 689 Millionen km vom Zentralgestirne. Seine Bahn wird also immerhin noch ganz von der Jupiterbahn eingeschlossen, deren kürzester Abstand von der Sonne im Perihel, wie wir gleich sehen werden, 734 Millionen km beträgt. Nun hat man im Februar 1906 auf dem astrophysikalischen Observatorium Königsstuhl bei Heidelberg einen äußerst lichtschwachen, im besten Falle nur als Sternchen 14. Größe erscheinenden Planetoiden,

selbstverständlich auf photographischem Wege, entdeckt und vorläufig als Planet 1906 TG bezeichnet, der nach einer von Berberich in Berlin ausgeführten Bestimmung seiner Bahnelemente eine mittlere Entfernung von 774¾ Millionen km von der Sonne hat, aber in seiner Sonnenferne 916½ Millionen km von der Sonne absteht, und damit weit über die Jupiterbahn, die zwischen 734 Millionen km in Sonnennähe und 808 Millionen km in Sonnenferne schwankt, hinausgeht. In seiner Sonnennähe dagegen kommt er bis 653¼ Millionen km an die Sonne heran.

Fig. 14. Erde, Mars, Merkur und Mond in derselben Größe nebeneinandergestellt. Da Venus fast dieselbe Größe wie die Erde hat, illustriert die Erdkugel zugleich auch deren Größe. Mars ist umgekehrt wie die Erde mit dem Südpol nach Norden gestellt. Seine südliche Eiskalotte, wie auch der so auffallende, als ‚Marsauge' bezeichnete Sonnensee mit dem ihn in einiger Entfernung im Süden und Westen umgreifenden aonischen Meerbusen sind im Bilde angedeutet worden.

Eros, von dem vorhin die Rede war, ist aber nicht nur durch seine am nächsten unter allen Planetoiden zur Sonne und damit auch der Erde sich nähernde Bahn ausgezeichnet, sondern ebensosehr auch dadurch merkwürdig, daß er in Zwischenräumen von zwei bis sechs Stunden regelmäßig seine Helligkeit ändert. Diese Helligkeitsschwankung scheint durch eine Achsenbrehung des Planeten bewirkt zu werden und man hat berechnet, daß die Gesamtdauer von Tag und Nacht für ihn nur 2 Stunden 46 Minuten beträgt. Da er einen Umfang von 116 km am Äquator besitzt, so beträgt die Umdrehungsgeschwindigkeit daselbst kaum 13 Minuten, so daß man auf ihm theoretisch bequem mit einem Automobil nach Osten fahrend dem Sonnenlaufe folgen, d. h. die Sonne zu scheinbarem Stillstande bringen könnte.

Die Helligkeitsschwankungen, welche nicht nur an Eros, sondern auch an andern Planetoiden, so jüngst an der 66 km im Durchmesser haltenden Tercidina festgestellt wurden, lassen sich dahin deuten, daß manche dieser Körper eine das Licht sehr verschieden stark reflektierende Oberfläche besitzen. Verschiedene Astronomen glauben auch, daß manche derselben nicht vollkommen rund sind. Zur Erklärung dieser Tatsache weist Seeliger darauf hin, daß in der Zone der Planetoiden gelegentlich Zusammenstöße zwischen zweien dieser Körperchen stattfinden können, daß durch ein solches, in ferner Vergangenheit liegendes Ereignis beispielsweise Eros in seine heutige Bahn geworfen worden sei. Bei einem Zusammenprall der offenbar längst erkalteten und starren Massen wird ein Teil derselben gewaltig erhitzt, vielleicht vergast; abgesprengte eckige Stücke aber bestehen weiter und schlagen neue Bahnen ein. Es wäre durchaus nicht unmöglich, daß diese Annahme bei fortschreitender Erkenntnis des Planetoidensystems noch einmal durch direkte Beobachtung einer derartigen Katastrophe Bestätigung fände.

Was nun die Entstehung des Planetoidenschwarmes anbetrifft, so hat schon Laplace aus naheliegenden Gründen angenommen, daß die wenigen ihm bekannten Planetoiden Bruchstücke eines durch Zusammenstoß mit irgendwelcher bedeutenderer kosmischer Masse explodierten großen Planeten entstanden seien. Von dieser Annahme ist man jetzt gänzlich zurückgekommen. Ihre sehr große Zahl läßt uns vielmehr vermuten, daß man es hier mit einem Ringgebilde zu tun hat, indem beim Zerreißen des an dieser Stelle um die Sonne kreisenden schmalen, dünnen und wenig stabilen Nebelringes nicht wie sonst teils zu mehreren, teils zu einem großen Körper zusammenballte Planeten und deren Monde sich bildeten, sondern Einzelteilchen durch lokale Verdichtung selbständig blieben. Ein jedes derselben begann nun mit der Winkelgeschwindigkeit des früheren Ringes eine selbständige Bahn um die Sonne zu beschreiben. Trotz der Störungen durch vorkommende Kollisionen, die einzelne Bahnen der Planetoiden etwas deformierten, kann man annehmen, daß das Mittel ihrer heutigen Bahnen den ursprünglichen Verhältnissen des Ringes noch sehr ähnlich ist. Ihre Neigungen gegen die Ekliptik liegen alle bis auf einzelne Ausnahmen, wie Pallas, zwischen 0 und 30 Grad. Außerdem haben fast alle Planetoiden, wenn wir die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne als Einheit annehmen, eine mittlere Entfernung zwischen 2,2 und 3,2. Mit ganz wenigen Ausnahmen überschreiten die mittleren Entfernungen die Zahlen 2 und 3,5 nicht.

Der Astronom de Freycinet in Paris hat aus seinen Untersuchungen über die Bahnelemente der Planetoiden den Schluß gezogen, daß ursprünglich, vor dem Zerfalle des einen Ringes in die vielen einzelnen Planetoiden, der Ring sich in mehrere konzentrische Ringe mit verschiedenen Neigungen geteilt habe. Es ist in der Tat schon lange bekannt, daß in bestimmten Entfernungen von der Sonne merkbare Lücken im Planetoidengürtel vorhanden sind, in denen sich nur ganz wenige dieser Körper bewegen. So besitzen von den 428 Planetoiden mit gut bestimmten Bahnen, die de Freycinet seinen Untersuchungen zugrunde legte, 85 eine mittlere Entfernung von 2,7 bis 2,8. Auf einem gleich großen Gürtel zwischen den Radien 2,45 und 2,55 trifft man nur 12 derselben an. Ebenso liegen zwischen 3,1 und 3,2 57 Planetoiden und nur 9 auf der doppelten Fläche zwischen 3,2 und 3,4. Diese Teilungen lassen sich theoretisch mit ziemlicher Sicherheit auf Störungen durch Jupiter, in zweiter Linie auch durch Mars zurückführen.

In welcher Weise durch Störungen großer Planeten solche Lücken entstehen, sieht man am Saturn und seinem Ring, mit dem wir uns alsbald zu beschäftigen haben werden. Die theorische (vom Griechischen theorein, laufen) Berechnung der Störungen, welche die Monde des Saturn durch ihre Anziehung auf die Teile des Ringes ausüben, ergiebt, daß gerade für solche Ringteile, welche sich in den obengenannten Lücken befinden würden, die Störungen einen sehr großen Betrag annehmen, so daß solche Teile sehr bald aus ihrer Bahn herausgezerrt würden. So bewegen sie sich im Saturnring in verschiedenen, durch freie Zwischenräume getrennten Gürteln. De Freycinet faßte nun die 428 untersuchten Planetoiden nach der Größe ihrer Neigung in drei Gruppen zusammen und berechnete dann für jede derselben die mittlere Entfernung. Er fand, daß im Mittel mit der Größe der Neigung auch die mittlere Entfernung von der Sonne wächst.

Denken wir uns nun einen festen, um die Sonne rotierenden Ring, dessen Teile alle dieselbe Winkelgeschwindigkeit haben, so werden die Teilchen des äußeren Randes eine größere lineare Geschwindigkeit als die des inneren Randes besitzen. Zerfällt nun dieser Ring plötzlich in einzelne Stückchen, die sich ganz unabhängig von einander zu bewegen vermögen, so wird ein jeder dieser Teile eine Bahn beschreiben, die von seiner Geschwindigkeit im Augenblicke des Zerfalls, dagegen nicht von seiner ursprünglichen Entfernung von der Sonne abhängig ist. Es ist also möglich, rückwärts aus der Gestalt der Bahnen dieser Teile die Gestalt des

ursprünglichen Ringes, d. h. seine Exzentrizität, seine mittlere Entfernung von der Sonne und seine Breite zu berechnen. Dies hat de Freycinet ausgeführt und als mittlere Breite eines Ringes die Zahl 0,29 gefunden, immer die Größe 1 = 149,54 Millionen km gesetzt.

Vernachlässigt man sieben Planetoiden mit auffallend großer Exzentrizität, so liegen die übrigen 421 zwischen mittleren Entfernungen von 2 und 3,5. Fünf Ringe von der mittleren Breite von 0,29 würden diesen Raum also gerade ausfüllen, und so viele müssen es ursprünglich auch gewesen sein. Die Annahme mehrerer Ringe erscheint schon aus der großen Ausdehnung des ganzen Planetoidengürtels wahrscheinlicher als die eines einzigen. Auch erklärt diese Annahme sehr gut das Vorkommen unmerklich kleiner Exzentrizitäten, nämlich an Teilen der äußeren Ränder der verschiedenen Ringe, in sehr verschiedenen Entfernungen von der Sonne und das Auftreten großer Differenzen in der Exzentrizität der Planetoiden von derselben Bahnneigung.

Die wichtigste Schlußfolgerung von de Freycinets sehr eingehenden Rechnungen ist die, daß die Ringe vor ihrem Zerfall in die Planetoiden schon einen gewissen Grad von Festigkeit erlangt hatten. Über den Zeitpunkt ihrer Bildung ließ sich feststellen, daß, wenn man die Entwicklung eines jeden Planeten unseres Sonnensystems für sich betrachtet, die Planetoiden in einer späteren Entwicklungsepoche als die übrigen Planeten entstanden sein müssen, da die Massen der Ringe der letzteren noch einen geringeren Grad der Festigkeit besessen haben mußten, um das Zusammenballen zu einem Körper zu gestatten. Umgekehrt haben die Saturnringe eine noch weitergehende Entwicklung als diejenigen der Planetoiden durchgemacht. Bei den Saturnringen ist die Katastrophe des Zerfalls in einzelne Stückchen ebenfalls schon eingetreten. Ihre Materie war jedoch schon so weit erstarrt, daß ein Zusammenballen der ungeheuer vielen Bruchstücke zu einer beschränkten Anzahl von Körpern, den Monden, nicht mehr möglich war. Das ist ungefähr alles, was wir heute über die Entstehung dieses unermeßlich großen Planetenschwarmes außerhalb des Planeten Mars zu sagen haben.

Außerhalb der kleinen Planeten gelangen wir zum größten von allen, zu Jupiter, der zwar 1279 mal größer, aber nur 310 mal schwerer als die Erde ist. Immerhin ist die Sonne noch 1047 mal so schwer wie er. Eine Eigentümlichkeit, die uns bei den bisherigen Planeten nicht auffiel, ist seine bedeutende Abflachung an den Polen, indem sein Durchmesser am Äquator im Betrage von 145100 km um 9000 km oder $^3/_4$ des Erddurchmessers länger als derjenige an den Polen ist. Nun

sind ja alle Planeten im Verhältnis zu ihrer Umdrehungsgeschwindigkeit abgeplattet, so die Erde um $^1/_{299}$ ihres Äquatorialdurchmessers; aber da die Abflachung bei den kleinen Planeten verhältnismäßig gering ist, können wir sie bei ihnen auch mit unseren besten Instrumenten nicht nachweisen. Nur bei Mars sind Spuren einer solchen auch wirklich zu entdecken gewesen.

Die so ungemein starke Abplattung des Jupiter ist rein nur die Folge seiner außerordentlich raschen Umdrehungsgeschwindigkeit. In nur etwa 9 Stunden 55 Minuten ist bei ihm eine Umdrehung um seine Achse beendigt. 27 mal schneller als auf der Erde dreht sich ein Punkt seines Äquators im Kreise herum und legt dabei $12^1/_2$ km in der Sekunde zurück, während ein Punkt des Erdäquators in derselben Zeit nur 465 m sich fortbewegt.

Der Abstand Jupiters von der Sonne beträgt im Durchschnitt 771 Millionen km d. h. etwas mehr als die fünffache Entfernung der Erde, und schwankt wegen der Exzentrizität seiner Bahn von nahezu $^1/_{21}$ zwischen 808 Millionen km in der Sonnenferne und 734 Millionen km in der Sonnennähe. In seiner Bahn legt er einen mittleren Weg von 13 km in der Sekunde zurück und vollendet einen ganzen Umlauf um die Sonne in 11 Jahren 317 Tagen 14 Stunden. Seine langsame Bewegung hat zur Folge, daß er von der Erde in je 399 Tagen eingeholt wird und daher alle 13 Monate mit der Sonne in Opposition tritt. Seine Dichtigkeit, die natürlich von der Oberfläche nach dem Innern zunimmt, ist so ungemein gering, daß sein Gewicht nur wenig höher als eine entsprechende Kugel aus Wasser ist, während bekanntlich das Gewicht der Erde fünfmal größer als eine gleich große Kugel aus Wasser beträgt. Die Schwere an der Jupiteroberfläche ist mehr als doppelt so groß als auf der Erde. Ein freifallender Körper legt am Äquator des Planeten 11,3 m in der ersten Sekunde zurück, am Pole aber noch fast 2 m mehr, teils infolge der Abplattung, teils weil dort die aus der schnellen Rotation entspringende Gegenwirkung wegfällt.

Jupiter besitzt eine sehr ausgedehnte Atmosphäre, welche am Äquator schneller als gegen die Pole zu mit dem darunter liegenden festen Kern rotiert. Dichte Wolkenzüge verhüllen uns, wie bei Venus, den Anblick seiner festen Oberfläche und werfen mit großer Kraft das auf sie fallende Sonnenlicht zurück. Seine durch diese starke Lichtreflexion bedingte Helligkeit, die sogenannte Albedo, ist 2,79 mal größer als bei Mars und wird nur von Venus und Saturn übertroffen. Nicht weniger als $\frac{6,2}{10}$ des auf ihn fallenden Sonnenlichtes wirft er zurück.

Wenn er auch nicht mehr selbst leuchtet, so ist doch sein Kern noch ungeheuer heiß, und mächtige Dampfausströmungen von sehr zahlreichen und starken Vulkanausbrüchen bewirken durch ihr Emporschleudern von großen Aschenmassen eine durch die sehr rasche Rotation zu Streifen in die Länge ausgezogene dunkle Bänderung des sonst gelblich-weißen Wolkenmantels. Vom Widerschein von an der Oberfläche des Planeten unter dem Dunst- und Wasserdampfschleier ausgebrochenen gewaltigen Massen glühender Lava sieht man bisweilen ins rötliche stechende Bezirke. Ein besonders auffallendes Gebilde dieser Art ist der sogenannte rote Fleck, der im Jahre 1872 als ganz unscheinbares Gebilde zum Vorschein kam, bis Anfang der achtziger Jahre an Deutlichkeit zunahm und von da an langsam erblaßte, aber heute noch sichtbar ist. Im Herbst 1889 besaß er noch einen Längendurchmesser von 29 800 km, also ³/₄ des Erdenumfangs. Die um den Jupiter ziehenden dicken Wolkenzüge lösen sich über ihm deutlich auf, als Zeichen dafür, daß er eine sehr große Hitze ausstrahlt. Zweifellos wird er durch eine gewaltige, nach und nach an die Oberfläche ausgetretene und hier auseinander geflossene Masse verhältnismäßig leichtflüssiger glühender Lava, die sich nur ganz langsam abkühlt, hervorgerufen. Ein winziges Seitenstück zu diesem roten Fleck des Jupiter ist der im Krater von einem halben Kilometer Durchmesser brodelnde See aus feuerflüssiger Lava des Kilauea auf Havai, die steigt und fällt und gelegentlich das von einem ganz niedrigen Uferrand umgebene Becken überflutet. Andere kleinere Flecken zeigen oft in kürzester Zeit auffallende Farbenveränderungen, indem sie bald

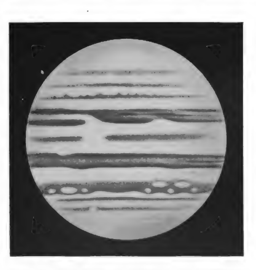


Fig. 15. Der Planet Jupiter, im umkehrenden Fernrohre betrachtet, nach einer Originalzeichnung von J. E. Keeler von der Licksternwarte in Kalifornien.

Digitized by Google

heller, bald auch dunkler werden. Jedenfalls weisen alle diese Erscheinungen auf sehr starke explosive Ausbrüche von glühendflüssigen Massen aus dem Innern des noch sehr heißen, nur mit einer äußerst dünnen und leicht zu durchbrechenden Erstarrungskruste bedeckten Planeten hin.

Jupiter ist, soviel wir heute wissen, von sieben Monden umkreist. Die vier größten derselben entdeckte schon Galilei im Jahre 1610, als er das eben erfundene Fernrohr auf den Planeten richtete. Heute zeigt sie schon ein guter Feldstecher oder ein Operngucker und bietet einem jeden, der über ein solches optisches Hilfsmittel verfügt, Gelegenheit, das anziehende Schauspiel der in einer durch den Äquator des Planeten gehenden Linie um den Hauptkörper kreisenden und jede Nacht eine veränderte Stellung zu ihm und zueinander einnehmenden Monde zu beobachten. In stärkeren Fernrohren sieht man sie auch deutlich in den Jupiterschatten eintreten und dadurch verfinstert werden oder beim Vorübergang vor dem Planeten ihren Schatten als runde dunkle Scheibchen auf ihn werfen.

Außer diesen leicht zu beobachtenden vier Trabanten ist am 9. September 1892 von Barnard mit dem mächtigsten Sehwerkzeuge der Neuzeit, dem großen Refraktor der Licksternwarte in Kalifornien, ein fünfter Trabant durch Abblenden des Jupiter als ein ganz kleines Sternchen 13. Größe entdeckt worden, das bald rechts, bald links, kaum mehr als drei Viertel des Jupiterdurchmessers vom Rande des Planeten entfernt auftaucht. Dieser äußerst schwer zu sehende Mond hat, nach der Helligkeit zu schließen, einen Durchmesser von gegen 200 km und bewegt sich in einer Entfernung von 126100 km in 11 Stunden 57 Minuten 23 Sekunden um Jupiter. Er braucht also zu einem Umlauf nur etwa zwei Stunden mehr als die Wolkenzüge der Jupiteroberfläche selbst.

Am 28. Januar 1905 entdeckte P. G. Aitken einen sechsten Trabanten, der einen Durchmesser von etwa 120 km haben mag und in stark exzentrischer, d. h. von der Kreisform abweichender elliptischer Bahn in einer mittleren Entfernung von 10668000 km in der Richtung der fünf inneren Monde in 253 Tagen um Jupiter kreist.

Später ist durch C. D. Perrine auch auf photographischem Wege noch ein siebenter Jupitermond als ein Sternchen 16. Größe, dessen Durchmesser auf nur etwa 50 km geschätzt wird, gefunden worden. Er umkreist den Planeten in einer ebenfalls sehr exzentrischen Bahn von 0,36, die wie beim sechsten Trabanten um 30 Grad zur Äquatorebene des Jupiters geneigt ist, in ungefähr 265 Tagen in einer der

Bewegungsrichtung der übrigen sechs Monde entgegengesetzten Richtung. Doch ist letztere Tatsache noch nicht ganz sichergestellt und bedarf der Bestätigung durch weitere Untersuchungen.

Der erste der größeren Satelliten hat einen Durchmesser von etwa 3800 km Durchmesser, ist also etwas größer als unser Mond und bewegt sich in 420000 km Entfernung vom Mittelpunkte seines Planeten — unser Mond ist vom Erdmittelpunkte im Mittel 385000 km entfernt — schon in 1 Tag 18½ Stunden einmal um Jupiter.

Der zweite Satellit ist etwas kleiner als der vorige, hat einen Durchmesser von 3410 km, ist damit etwa so groß als unser Mond und bewegt sich in 670000 km Entfernung in 3½ Tagen einmal um Jupiter.

Der dritte Jupitermond ist der größte von allen, er ist erheblich größer als Merkur und fast 4½mal so groß als unser Mond. Er mißt im Durchmesser etwa 5600 km und bewegt sich in 1067000 km Entfernung in 7 Tagen 3¾ Stunden einmal um Jupiter. Obgleich sein Weg um den Planeten fast dreimal größer ist als derjenige, den unser Mond um die Erde beschreibt, legt er ihn doch viermal schneller zurück. Spektroskopisch wurden an ihm deutliche Anzeichen einer Atmosphäre nachgewiesen. Von den vier innersten Monden wissen wir ziemlich bestimmt, daß sie durch die gewaltige Anziehung des Zentralkörpers fortwährend in ihrer Eigenrotation gebremst, diesem beständig die gleiche Seite zukehren, d. h. wie unser Mond während eines Umgangs um die Sonne sich einmal um ihre Achse drehen. An den beiden größten Jupitermonden, welche überhaupt die bedeutendsten Monde unseres Sonnensystems darstellen, erkennen wir diese Tatsache mit Bestimmtheit an gewissen Flecken und Lichtschwankungen. Dies ist vielleicht auch beim fünften Jupitertrabanten, beim vierten der größeren, seit bald 300 Jahren bekannten Monde der Fall, der als der entfernteste Mond des Jupitersystems zwar etwas kleiner als der dritte, aber größer als die beiden ersten ist. Er hat einen Durchmesser von 4800 km, ist also nur sehr wenig größer als Merkur und bewegt sich in einem Abstande von 26½ Halbmessern vom Planeten, d. h. 1877000 km in 16 Tagen 16½ Stunden einmal um letzteren. Die Scheibe dieses Mondes leuchtet in auffallend schwachem Lichte.

Die Gesamtmasse der Jupitermonde beträgt höchstens $^1/_{6000}$ des Hauptkörpers, während das Verhältnis von Erdmond und Erde $^1/_{80}$ ist. Wenn auch der gewaltige Jupiter nicht mehr selbst leuchtet, so ist er doch noch so heiß und so wenig verdichtet, daß er nur eine ganz dünne

Erstarrungskruste besitzen kann, welche oft von Ausbrüchen glühender Massen gesprengt wird. Daß unter diesen Umständen keinerlei Leben auf einem so heißen Körper bestehen kann, das ist ganz selbstverständlich.

Wir dürfen von Jupiter nicht Abschied nehmen, ohne zu erwähnen, daß sich an die Verfinsterungen der Jupitermonde die hochwichtige Entdeckung der endlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes knüpft. Man hatte nämlich bald die großen Vorteile erkannt, welche jene Erscheinungen in der Astronomie, Geographie und besonders für die Schiffahrt zu einer raschen und überall ausführbaren Bestimmung von geographischen Längenunterschieden auf der Erde darboten, und war daher eifrig bemüht, genaue Grundlagen herzustellen, die eine sichere Vorausberechnung der Finsternisse ermöglichten. Mit Untersuchungen über diesen Gegenstand beschäftigt, fand der damals in Paris weilende dänische Astronom Olaf Römer im Jahre 1676, daß die Verfinsterungen regelmäßig eine Viertelstunde später wahrgenommen wurden, wenn die Sonne zwischen Jupiter und Erde stand, als wenn beide Planeten sich auf derselben Seite der Sonne befanden. Es entging seinem Scharfsinne nicht, daß diese Verspätung nur dadurch zustande kam, daß das eine Mal der Weg des Lichtes um den ganzen Durchmesser der Erdbahn größer war als im andern. Römer hatte dann die Zeit, welche das Licht braucht, um die halbe große Achse der Erdbahn zu durchlaufen, zu 11 Minuten gefunden und danach die Lichtgeschwindigkeit auf 311000 km in der Sekunde festgestellt. Neuere Bestimmungen von Delombre aus den Verfinsterungen der Jupitertrabanten und von Struve aus der Aberration der Fixsterne haben dafür die genaueren Werte von 8 Minuten 13,7 Sekunden ergeben. Unter Annahme des wahrscheinlichsten Wertes der Sonnenparallaxe erhält man daraus die Geschwindigkeit des Lichtes zu 300000 km in der Sekunde. Diese Zahl ist auch durch die neuesten diesbezüglichen Untersuchungen, von denen im ersten Abschnitte die Rede war, nicht umgestoßen worden.

Das auffallendste Gebilde unseres ganzen Sonnensystems ist der außerhalb von Jupiter in gleicher Richtung mit ihm und allen übrigen Trabanten seine Bahn wandelnde Saturn, der seinen Namen von dem altitalischen Saat- und Erntegott erhielt, der später mit dem griechischen Kronos, dem Vater des Zeus, identifiziert wurde. Nicht nur ist er der zweitgrößte unter allen Planeten, sondern er ist der Zentralkörper des reichsten und ausgedehntesten Trabantensystems, das wir kennen, und,

was noch viel merkwürdiger ist, dazu noch eines ganzen Systems frei um ihn herumschwebender Ringe. Obwohl nicht wie Venus, Jupiter oder Mars durch große Helligkeit ausgezeichnet, wird er doch leicht von dem unbewaffneten Auge an seinem milden, ruhigen Lichte von etwas gelblicher Färbung erkannt, in dem er gleich einem mittleren Sterne erster Größe leuchtet. Auch er besitzt kein eigenes Licht mehr und erstrahlt nur in dem ihm von der Sonne zustrahlenden Lichte, das er zur Hälfte, nur wenig schwächer als Jupiter, zurückwirft.

Noch stärker als bei Jupiter tritt bei Saturn die Abflachung an den Polen zutage. Diese ist beinahe doppelt so groß als bei Jupiter und mehr als 30mal größer als bei der Erde. Nach den neuesten außerordentlich genauen Messungen von Barnard am mächtigen Refraktor der Licksternwarte in Kalifornien, dem wir alle die hier angegebenen Maße für die Planeten entnommen haben, beträgt sein Durchmesser 123000 km am Äquator und 112300 km an den Polen. Wie genau diese Messung ist, beweist der unabhängig von Barnard von See am Navalobservatorium in Washington gefundene Betrag für den Äquatorialdurchmesser von 123148 km.

Ist er auch nur etwas mehr als halb, nämlich 0,56mal so groß als Jupiter, so ist er gleichwohl 720mal größer als unsere Erde. Da aber seine Materie noch ungemein locker ist und seine mittlere Dichtigkeit nur 0,13 derjenigen der Erde erreicht, er also sogar leichter als eine gleich große Kugel Wasser ist, ist die Masse des Planeten oder, genauer gesagt, die des ganzen Systems gleich $^1/_{3501,6}$ der Sonnenmasse. Man könnte aus ihm nur 93 Kugeln von der Schwere und Dichtigkeit der Erde formen.

Die Entfernung des Saturn von der Sonne beträgt das Neuneinhalbfache derjenigen der Erde und nahe das Doppelte des Abstandes des Jupiter von der Sonne. Sie schwankt wegen der Exzentrizität seiner Bahn, die $^1/_{18}$ beträgt, zwischen 1330 und 1490 Millionen km. Im Mittel beträgt sie 1424 Millionen km, so daß die Sonne auf jene Welt 90mal schwächer als auf unsere Erde strahlt. Wegen des großen Abstandes von dem anziehenden Zentrum ist ihre Bewegung um die Sonne eine außerordentlich langsame. Sie erreicht im Mittel nur 9,5 km in der Sekunde.

Einen ganzen Umlauf um die Sonne vollendet Saturn erst in 29 Jahren 174 Tagen. Dagegen verfließt von einer Opposition bis zur nächstfolgenden durchschnittlich nur 1 Jahr und 13 Tage und der Planet erscheint in diesem ganzen Zeitraum um kaum mehr als unser

Mond an zwei aufeinanderfolgenden Abenden von seiner Stelle gerückt. Auch in seiner größten Erdnähe ist er immer noch 1180 Millionen km von uns entfernt.

Die aus der starken Abplattung an den Polen hervorgehende schnelle Umdrehung des Saturn hat erst W. Herschel durch Beobachtung eines hinreichend scharfen Flecks auf seiner Oberfläche annähernd zu bestimmen vermocht. Im Dezember 1876 hat dann, durch das plötzliche Auftreten eines glänzenden neuen Flecks begünstigt, A. Hall in Washington eine Umdrehungsdauer von 10 Stunden 14 Minuten 23,8 Sekunden festgestellt, die nur 1½ Minuten kürzer ist als die von Herschel berechnete. Die Geschwindigkeit eines Punktes am Saturnäquator ist folglich nicht viel geringer als bei Jupiter und beträgt etwa 10,4 km in der Sekunde. Ein Saturnjahr dauert rund 25000 Saturntage. Der Fallraum eines Körpers in der ersten Sekunde ist dort nicht 4,9 m wie auf der Erde, sondern 4,3 m. Wegen der ungemein großen, der zentripetalen Schwerkraft entgegenwirkenden Zentrifugalkraft würde ein Erdenkilogramm auf ihm nur 0,89 kg wiegen. Ja, würde der Planet nur 2½ mal schneller sich um seine Achse drehen, so würden alle Gegenstände an seinem Äquator überhaupt alle Eigenschwere verlieren und schweben.

Von der Planetenoberfläche können wir, so wenig als bei Jupiter, etwas sehen; denn unsere Wahrnehmung bezieht sich lediglich auf die ihn auch hier umgebende starke Wolkenumhüllung, welche infolge ihrer ungemein raschen Rotation in gleicher Weise wie bei Jupiter sich streifenförmig anordnet. Immerhin ist die Anzahl der dem Äquator parallel sich hinziehenden Streifen eine geringere als bei Jupiter; mehr als drei oder vier werden selten und auch diese nur unter sehr günstigen atmosphärischen Verhältnissen mit lichtstarken Fernrohren wahrgenommen.

Aus seiner geringen Dichtigkeit geht mit Gewißheit hervor, daß er weniger weit als Jupiter in der Abkühlung vorgeschritten ist und teilweise noch etwas Eigenlicht ausstrahlt. Jedenfalls ist seine Erstarrungskruste eine sehr dünne und wenig zusammenhängende, so daß ein Hervorquellen von großen Mengen flüssiger Lava eine sehr häufige Erscheinung auf ihm ist. Dieser Vorgang dokumentiert sich in Form von glänzenden hellen Flecken mit rötlichem Scheine, die aber infolge der viel größeren Entfernung viel schwieriger als bei Jupiter zu sehen sind. Spektroskopisch stimmt die mit Wasserdampf gesättigte dichte Atmosphäre bei Saturn wie bei Jupiter als Beweis einer ähnlichen physischen Konstitution vollkommen überein. Auch Saturn ist natürlich noch nicht so weit in

der Verdichtung und Abkühlung fortgeschritten, daß Leben irgendwelcher Art auf ihm bestehen könnte.

Um diese dem Jupiter in jedem Zuge so verwandte Welt schlingt sich nun geheimnisvoll der große Ring, den schon Galilei im Jahre 1610 sah, als er das Fernrohr zum ersten Mal auf den Planeten richtete. Er glaubte eine größere Kugel, die östlich und westlich von je einer kleineren berührt wurde, zu sehen. Als zwei Jahre später diese, wie er sich in einem Briefe vom 13. November 1610 an Giugliano

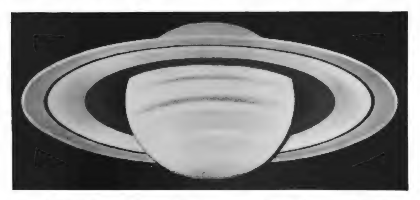


Fig. 16. Der Planet Saturn im umkehrenden Fernrohre gesehen, nach einer Originalzeichnung von J. E. Keeler von der Lickternwarte in Kalifornien.

de Medici ausdrückt, „zwei Diener, welche den alten Saturn unterstützen und stets an seiner Seite bleiben", verschwunden waren und der Planet vollkommen rund erschien, war der große Florentiner Gelehrte derart entmutigt, daß er an der Realität alles dessen, was sein Fernrohr ihm gezeigt hatte, zu zweifeln begann und unmutig darüber die Beobachtung des Saturn aufgab.

Seine Zeitgenossen und Nachfolger waren nicht glücklicher als er und erst dem scharfsinnigen Christian Huygens blieb es vorbehalten, das überaus geheimnisvolle Rätsel zu lösen. „Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato" d. h. „er wird von einem dünnen, ebenen, ihn nirgends berührenden, gegen die Ekliptik geneigten Ringe umgeben", das war die Auflösung, die dieser geniale Mann 1659 einem drei Jahre vorher von ihm veröffentlichten Anagramm, wie es seine Zeit liebte, gab. Und die Folgezeit hat diese Erklärung nur zu bestätigen vermocht.

Wir wissen heute, daß der Ring des Saturn aus einer ganzen Anzahl, mindestens sieben, um einander gelegte Ringe umkreist wird, die nicht selbst leuchten, sondern, wie man schon aus dem Schatten, den sie auf die Kugel werfen, entnehmen kann, ihr Licht von der Sonne erhalten. Sie liegen vollkommen in der Äquatorialebene des Planeten und sind wie diese gegen die Bahnebene wie auch gegen die Ekliptik geneigt. Wir sehen sie daher nicht in ihrer wahren kreisförmigen Gestalt, sondern immer perspektivisch verkürzt als Ellipsen, deren kleine Achse je nach der Neigung der Gesichtslinie zwischen Null und einem größeren Maximum variiert. Wegen der unveränderten Lage, die das Ringsystem bei seinem Umlauf um die Sonne beibehält, tritt zweimal während eines Saturnjahrs der Fall ein, daß die verlängerte Ringebene genau durch die Sonne hindurchgeht und nur die etwa 100 km dicke Kante des Ringsystems vom Sonnenlichte bestrahlt wird. Wir können sie dann nur in den allerkräftigsten Fernrohren als eine äußerst zarte lichte Linie zu beiden Seiten der Saturnkugel sehen. Zwischen diesen beiden Stellungen des Planeten, in dem auf und nieder steigenden Knoten seiner Ringebene, wird man im allgemeinen den Ring als solchen erkennen, aber seine Öffnung bleibt immer kleiner als der Durchmesser der zentralen; es wird daher stets ein Teil der Ringe durch die Kugel und ein Teil der Kugel durch die Ringe verdeckt werden. So zieht sich der Ring für einen Beobachter auf der Sonne alle $7^1/_3$ Jahre abwechselnd zu einer geraden Linie zusammen und öffnet sich dann jeweilen wieder.

Nach den spektroskopischen Untersuchungen von Seeliger in München wissen wir bestimmt, daß dies Ringsystem des Saturn aus einer ungeheuren Anzahl fester Körper, Möndchen winzigster Art besteht, die selbständig und teilweise ziemlich weit auseinander liegend nach den Gesetzen der Gravitation den Planeten umkreisen. Nur aus der weiten Entfernung, aus der wir sie sehen, erscheinen sie uns als ein kompaktes Ganzes, was aber durchaus nicht der Fall ist. Letzteres könnte schon deshalb nicht sein, da die Umlaufszeit in den verschiedenen Teilen des etwa 50000 km breiten Ringsystems ganz ungleich ist. So hat die innerste Kante des wie ein Schleier durchsichtigen Schleierrings bereits in 5,2 Stunden einen Umlauf vollendet, während die äußerste Kante 13,8 Stunden dazu braucht. Die einzelnen Ringe, die nur dichtere Anhäufungen der ganz winzigen Satelliten bilden, bewegen sich also mit sehr großen Geschwindigkeiten. Der innerste Ringrand eilt sogar den ihm am nächsten liegenden Oberflächenteilen des Saturnäquators beträchtlich

voraus. Allerdings umgibt ihn keinerlei Dunsthülle wie die Saturnkugel, sondern die einzelnen Möndchen, die ihn zusammensetzen, sind wie die Teile einer Meteorwolke ohne Gasumhüllung.

Außerhalb dieses merkwürdigen Ringsystems umkreisen Saturn nicht weniger als zehn Monde in den verschiedensten Größen, Entfernungen und Geschwindigkeiten, so daß am Himmel des Saturn sich ein außerordentlich mannigfaltiges und fesselndes Bild der verschiedenen Mondbewegungen entfalten muß.

Der erste dieser Monde, Mimas, gehört nebst seinem nächsten Nachbarn Enceladus in eine Kategorie mit jenen planetennahen Satelliten, denen wir auch bei Mars und Jupiter begegneten. Kaum 52000 km, d. h. das Vierfache des Erddurchmessers trennt ihn vom äußeren Rande des Ringes. Er hat nach den photometrischen Messungen von Pickering 470 km Durchmesser und kreist in weniger als einem Erdentage, nämlich in 22 Stunden 37 Minuten, in einer der Bahn unseres Mondes fast gleichkommenden Entfernung von im Mittel 186100 km um den Zentralkörper.

Der zweite Mond, Enceladus, der kaum größer, aber wegen seines weiteren Abstandes vom leuchtenden Ringe leichter als dieser zu sehen ist, hat einen Durchmesser von etwa 594 km und bewegt sich in 1 Tag 8 Stunden 53 Minuten um Saturn in einer Bahn, die im Mittel 238000 km, d. h. 3,9 Saturnhalbmesser vom Planeten verläuft.

Der dritte Mond, Thetys, ist nach Pickering noch einmal so groß als seine näheren Gefährten. Er hat einen Durchmesser von 916 km und umkreist in 1 Tag 21 Stunden 18 Minuten in einer mittleren Entfernung von 294000 km den Zentralkörper. Sein größter Abstand beträgt 4,8 Saturnhalbmesser.

Der vierte Mond, Dione, hat etwa 871 km Durchmesser und bewegt sich in einem Abstande von 379000 km oder 6,2 Saturnhalbmessern in 2 Tagen 17 Stunden 41 Minuten um den Planeten. Aus den periodischen Schwankungen seiner Helligkeit kann man schließen, daß auch er, wie alle näheren Saturnmonde, seine Umlaufszeit in Übereinstimmung mit einer Umdrehung um seine Achse gebracht hat, d. h. also dem Planeten stets die gleiche Seite zukehrt.

Der fünfte Mond, Rhea, ist größer alle die bis jetzt betrachteten näheren. Er hat 1197 km im Durchmesser und umkreist in 4 Tagen 12 Stunden 25 Minuten in 526000 km oder 8,6 Saturnhalbmesser Abstand den Planeten.

Der sechste Mond, Titan, ist bei weitem das größte Glied der

Saturnwelt. Er hat einen Durchmesser von gegen 4000 km und kreist in 15 Tagen 22 Stunden 41 Minuten in 1 222 000 km oder 20,3 Saturnhalbmesser Entfernung einmal um den Zentralkörper. Es kann daher nicht verwundern, daß er als erster aller Saturnmonde von Huygens mit seinem von eigener Hand verfertigten Fernrohre von 12 Fuß Länge am 25. März 1655 entdeckt wurde. In den 40 Jahren, die dieser große Physiker noch zu leben hatte, wurden dann weitere drei Saturntrabanten gefunden. Darauf trat eine mehr als hundertjährige Pause ein, und erst die von Wilhelm Herschel den optischen Hilfsmitteln gegebene Vervollkommnung ließ einen weiteren tieferen Blick in das Satellitensystem des Saturn tun.

Der siebente Mond, Themis, ist erst im Mai 1905 in der reinen Luft des 2400 m hoch in den peruanischen Anden gelegenen Arequipa auf photographischem Wege durch H. W. Pickering gefunden worden. Er gehört zu den winzigsten optisch noch erkennbaren Gebilden, die nur noch von der höchst lichtempfindlichen photographischen Platte, aber nicht mehr vom menschlichen Auge direkt wahrgenommen zu werden vermögen. Er erscheint als ein winziges Sternchen 17½. Größe, hat einen Durchmesser von nur 60 km und bewegt sich in etwa 21 Tagen 3 Stunden um den Zentralkörper. Vermöge seiner großen Exzentrizität von 0,215 kann er sich letzterem einerseits 100 000 km mehr als sein innerer Nachbar Titan nähern, anderseits aber auch 1 770 000 km, d. h. über den äußeren Nachbarn Hyperion hinaus von Saturn entfernen. Vermöge dieser eigentümlichen Verhältnisse wird seine Bahn sehr hochgradig von diesen beiden sehr viel größeren Nachbarn gestört werden. In Bezug auf Helligkeit bleibt er noch um volle drei Größenklassen hinter dem 8. Saturnmonde Hyperion zurück, welcher weitaus der kleinste und lichtschwächste der früher bekannten acht Saturnmonde ist.

Dieser Hyperion hat etwa 310 km Durchmesser und bewegt sich ähnlich dem vorigen in einer höchst exzentrischen Bahn in einer mittleren Entfernung von 1 480 000 km in 21 Tagen 7 Stunden 28 Minuten um Saturn.

Der neunte Mond, Japetus, der ebenso wie die andern näheren Monde dem Zentralkörper höchst wahrscheinlich stets dieselbe Seite zukehrt, hat etwa 783 km Durchmesser und bewegt sich in einer mittleren Entfernung von 3 538 000 km in 79 Tagen 7 Stunden 54 Minuten um ihn.

Der zehnte bis jetzt bekannt gewordene Mond, Phoebe, ist am 8. August 1904 als ein ebenfalls für das unbewaffnete Auge unsicht-

bares Gebilde von etwa 60 km Durchmesser ebenfalls in Arequipa auf photographischem Wege von Pickering gefunden worden. Er ist fast viermal weiter als der vorhergehende, ihm nächste Mond, von Saturn entfernt und bewegt sich in einer stark gegen die Ekliptik geneigten, sehr exzentrischen Bahn von 0,22 in 13 Millionen km, d. h. 215 Saturnhalbmesser Abstand in 546 Tagen 12 Stunden um Saturn, von dem aus er mit unbewaffnetem Auge überhaupt nicht gesehen werden kann, so weit ist er von ihm entfernt.

Mit Saturn schließt die Reihe der großen Planeten ab, welche seit den ältesten Zeiten bekannt sind. Da entdeckte am Abend des 13. März 1781 ein bis dahin fast ganz unbekannter Amateurastronom, der als Organist in Bath in England lebende Sohn eines hannoverschen Musikers, Wilhelm Herschel, mit seinem selbstverfertigten siebenfüßigen Teleskope einen mit bloßem Auge kaum sichtbaren Stern 6. bis 7. Größe, der sich ihm in seinem vortrefflichen Instrument als ein Scheibchen von merklichem Durchmesser zeigte und nach wenigen Tagen schon eine deutliche Eigenbewegung erkennen ließ. Diesen bewegten Stern betrachtete aber Herschel als Kometen und zeigte ihn als solchen auch der Royal Society in London an, weil ihm gar nicht in den Sinn kam, daß es noch mehr Planeten als die bis dahin bekannten geben könne. Freilich war dies neuentdeckte Gestirn ein Komet von durchaus ungewohntem Aussehen, der keine von den sonst bei diesen Himmelskörpern wahrnehmbaren Eigenschaften, weder Schweif noch Nebelhülle zeigte. Allein der Gedanke an einen noch unerkannten Planeten lag zu jener Zeit so fern, daß selbst die erfahrensten Astronomen, die den merkwürdigen Wandelstern sogleich nach seiner Entdeckung aufsuchten, ihn für das hielten, wofür der Amateurastronom zu Bath ihn ausgegeben hatte.

Erst als die genaue Rechnung ergab, daß seine Bahn eine ganz andere war als die, welche Kometen sonst zu wandeln pflegen, daß er sich vielmehr wie die Planeten in einer von der Kreisform wenig abweichenden Ellipse und in einem Abstande von der Sonne bewegt, der mehr als zehnmal die Entfernung übersteigt, in der selbst die hellsten Kometen unsichtbar zu werden pflegen, mußte endlich die Überzeugung durchdringen, daß nicht ein Komet, sondern ein neues, ständiges Glied unseres Sonnensystems in diesem Wandelsterne gefunden war. Herschels Ansehen stieg dadurch nur um so höher. Alle gelehrten Gesellschaften überhäuften ihn mit Ehren und Georg III. von England, dem zu Ehren der Entdecker den Planeten als Georgsstern bezeichnet wissen wollte,

entband ihn zum Danke der Sorge für den Erwerb seines Unterhaltes und gestattete ihm dadurch, ganz der von ihm so verehrten Wissenschaft der Astronomie zu leben.

Seit dem Anfange des letzten Jahrhunderts trägt der Planet nach dem Vorschlage des deutschen Astronomen Joh. Bode die Bezeichnung Uranus, in der seine Zugehörigkeit zur Familie der großen Planeten sich in passender Weise ausspricht. Nach den Messungen von Kaiser, die Barnard in jüngster Zeit mit gleichem Resultate wiederholte, hat er einen Durchmesser von etwa 50000 km und ist der viertgrößte aller Planeten. Er ist zwar 69mal größer als die Erde, aber infolge seiner überaus geringen Dichte, wonach er nur wenig schwerer als eine gleichgroße Kugel aus Wasser ist, wiegt er nur 14mal mehr als sie. Die Schwere an seiner Oberfläche ist um $^1/_{14}$ geringer als auf der Erde. Ein Erdenkilogramm würde auf ihm nur 0,75 kg wiegen und ein fallender Körper durchliefe auf ihm, trotzdem er unvergleichlich viel größer als die Erde ist, statt 4,9 m wie bei uns 4,6 m in der ersten Sekunde.

In einer der Jupiterbahn fast gleichen Exzentrizität von 0,046 kreist er in einer Entfernung von im Mittel 2864 Millionen km oder 19,2 Erdweiten = etwas mehr als zwei Saturnweiten mit einer mittleren Geschwindigkeit von 6,5 km in der Sekunde um die Sonne und vollendet einen Umlauf um sie in 84 Jahren 28 Tagen. In der Sonnenferne steht er 2980 Millionen km, in der Sonnennähe dagegen 2716 Millionen km von der Sonne ab. In der Erdnähe ist er 2565 Millionen km, in der Erdferne aber 3130 Millionen km von der Erde entfernt. Auf die scheinbare Größe und den Glanz des Planeten sind diese Unterschiede nur von geringem Einfluß. Unter allen großen Planeten hat seine Bahn die geringste Neigung gegen die Ekliptik; sie wird darin nur unbedeutend von einigen Planetoidenbahnen übertroffen.

Seine hohe lichtreflektierende Kraft oder Albedo, die derjenigen Jupiters fast gleichkommt, deutet wie dort auf eine sehr dichte, mit Wasserdampf gesättigte Atmosphäre, welche den noch recht heißen Planeten, auf dessen festen Körper unser Blick nicht hinabzudringen vermag, gleicherweise wie Jupiter und Saturn umgibt. Auf mächtige Wolkenschleier deutet auch das Spektrum. Durch die sehr rasche, erst vor $2^1/_2$ Jahren festgestellte Rotation im Betrage von $11^1/_2$ Stunden ist eine schwache Streifung sowie eine dem Saturn gleichkommende Abplattung bei ihm wohl erklärlich. Bei seiner überaus großen Entfernung ist es uns aber vollkommen unmöglich, irgendwelche Einzelheiten an seiner Wolkenhülle zu erkennen. Jedenfalls ist aber auch Uranus, wie

die beiden innen an ihm stehenden großen Planeten, noch nicht so weit abgekühlt, daß Leben irgendwelcher Art auf ihm bestehen könnte; denn er dampft noch wie jene förmlich, wenn er auch nicht mehr selbstleuchtend ist. Von der Sonne erhält er nur $^1/_{369}$ der Wärme- und

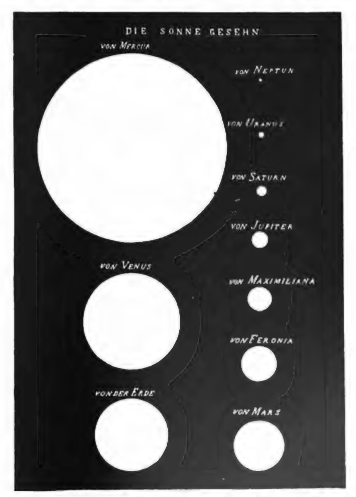


Fig. 17. Die Sonne in ihren verschiedenen Größen, wie sie von den Hauptplaneten und von zwei Planetoiden (Feronia und Maximiliana) aus erscheinen muß

Digitized by Google

Lichtmenge, die die Erde von ihr erhält, infolgedessen sind auch die Bedingungen für später sich auf ihm entwickelndes Leben durchaus ungünstige.

Uranus ist von vier Monden umkreist, von denen die beiden äußeren am 11. Januar 1787 von Herschel, die beiden inneren dagegen, welche zu den schwierigsten Objekten der astronomischen Beobachtungskunst gehören, von Lassell mit seinem Riesenrefraktor in der überaus klaren Luft Maltas am 24. Oktober 1851 entdeckt wurden. Entgegen allen andern Satelliten unseres Sonnensystems bewegen sie sich in fast kreisförmigen Bahnen fast senkrecht zur Bahnebene des Uranus von Osten nach Westen. Dies beweist, daß an den Grenzen unseres Sonnensystems einstmals eine starke Störung unbekannter Art, vermutlich ein Zusammenstoß mit einem großen Kometen, die ursprünglich notwendig den übrigen Satelliten gleichartigen Lageverhältnisse dieser Körper gewaltsam verändert hat.

Der am nächsten bei Uranus stehende Satellit, Ariel, hat, wie auch der nächstfolgende äußere Nachbar einen jedenfalls geringeren Durchmesser als 600 km und bewegt sich in 194100 km Entfernung in 2 Tagen 12 Stunden 29 Minuten um den Zentralkörper.

Der zweite Mond, Umbriel, umkreist Uranus in 271000 km Entfernung in 4 Tagen 3 Stunden 28 Minuten.

Der dritte Mond, Titania, besitzt einen Durchmesser von etwa 942 km und umkreist Uranus in 444000 km mittlerer Entfernung in 8 Tagen 16 Stunden 56 Minuten.

Der vierte Mond, Oberon, hat einen Durchmesser von etwa 875 km und bewegt sich in 593000 km Abstand in 13 Tagen 11 Stunden 7 Minuten um seinen Zentralkörper.

Die Entdeckungsgeschichte des alleräußersten heute bekannten Planeten unseres Sonnensystems, des Neptun, der 30mal weiter als die Erde von der Sonne absteht, ist einer der größten Triumphe, den der menschliche Geist mit Hilfe der astronomischen Theorie gefeiert hat. Aus der ganz unbedeutenden Abweichung im Betrag einer Haaresbreite in deutlicher Sehweite, d. h. 25 cm vom Auge gehalten, die Uranus von dem ihm seine Bahn genau vorschreibenden Newtonschen Gravitationsgesetze zeigte, wurde, als er erst die Hälfte seiner Bahn am Himmel durchlaufen hatte, von zwei jungen Astronomen gleichzeitig und unabhängig von einander der unbekannte, außerhalb der Uranusbahn eine störende Wirkung auf ihn ausübende Körper in allen seinen Bahn-

elementen bestimmt, und — er fand sich auch wirklich an der ihm durch die Rechnung vorgeschriebenen Stelle am Himmel.

Diese beiden geschickten Rechner waren Le Verrier in Paris, dem der leitende Astronom Frankreichs, Arago, diese Aufgabe zuwies, und Adams in Cambridge. Beide haben sich durch ihre fast genau übereinstimmende Rechnung Unsterblichkeit errungen; aber die Siegespalme fiel Le Verrier zu, der das Glück hatte, sich in Betreff der Nachsuchung des hypothetischen Planeten nach Berlin zu wenden, wo gerade von der betreffenden Himmelsgegend sehr gute, unveröffentlichte Sternkarten vorhanden waren. Noch in der Nacht desselben Tages, an welchem das betreffende Schreiben von Le Verrier in Berlin eintraf, am 23. September 1846, sah Galle, der heute noch lebende Astronom, damals Assistent an der Berliner Sternwarte, in einer kaum einen Grad von dem von Le Verrier angegebenen Orte entfernten Stelle einen Stern achter Größe, der in der Karte nicht verzeichnet war. Encke, der Direktor der Sternwarte, wurde als Zeuge herbeigerufen; man maß den Durchmesser des betreffenden Sterns, den man sehr nahe mit Le Verriers Angabe übereinstimmend fand, und nach wenigen Stunden glaubte man auch eine geringe Ortsveränderung gegen die umliegenden Sterne zu bemerken. Die folgende Nacht beseitigte auch den letzten Zweifel. Der Stern hatte sich in 24 Stunden genau in der Richtung und mit der Geschwindigkeit weiter bewegt, die Le Verriers Rechnung ihm vorschrieb. Die glänzendste aller Planetenentdeckungen war gemacht worden und Le Verrier, der die Entdeckung veranlaßt hatte, wurde der viel gefeierte Held des Tages.

Noch vor Le Verrier hatte aber Adams seine Rechnungen beendet, die den Ort des Planeten noch ein wenig besser mit der Wahrheit übereinstimmend, als die Rechnungen des Franzosen ergaben, festsetzten. Wegen der Auffindung des errechneten Körpers hatte er sich an Challis, den Direktor der Sternwarte zu Cambridge, gewendet, und dieser hatte auch am 4. und am 12. August, also $1\frac{1}{2}$ Monate vor Galle, den Planeten gesehen und aufgenommen. Aber er versäumte gleich die genaue Ortsbestimmung der betreffenden Sterne vorzunehmen, aus der sich sofort die Ortsveränderung des gesuchten Körpers ergeben hätte. Er holte dies erst nach, als die Kunde von der Entdeckung des neuen Körpers bereits nach England gedrungen war und fand auch richtig das gesuchte neue Mitglied unseres Sonnensystems. Aber es war zu spät. Das Glück hatte schon zugunsten Le Verriers entschieden. Adams, der den Preis noch besser als dieser verdient, hatte das Nach-

sehen — und zwar allein durch die Nachlässigkeit eines andern, in dessen Hände er vertrauensvoll die Entscheidung gelegt hatte. Es gibt in der Tat keine tragischere Ironie des Schicksals als diese.

In der Benennung des neu gefundenen Planeten konnte lange Zeit keine Einigung unter den maßgebenden Astronomen gefunden werden. Dem von Galle vorgeschlagenen Namen Janus stellte Le Verrier entgegen, daß derselbe zu der Deutung Anlaß geben könne, daß in ihm der letzte größere Planet des Sonnensystems aufgefunden sei, zu welcher Annahme durchaus kein Grund vorliege. Die wissenschaftliche Korporation des Bureau des longitudes in Paris brachte den Namen Neptun in Vorschlag, stieß aber damit bei Arago auf heftigen Widerstand, der, von Le Verrier um die Benennung des Planeten ersucht, die glänzende Leistung des jungen Mannes für ewige Zeiten durch den Namen des Entdeckers in Erinnerung gebracht wissen wollte. Allein diese Abweichung von der bis dahin streng eingehaltenen Regel der mythologischen Namengebung fand keinen allgemeinen Beifall, und so gelangte schließlich der Name Neptun zu allseitiger Annahme.

Nun zeigte es sich, daß Lalande bei der genauen Aufnahme der Positionen von gegen 50000 Sternen bis zur neunten Größe, wie Walker und Petersen zuerst bemerkten, am 8. und 10. Mai 1795 den Planeten aufgenommen, ihn aber für einen Fixstern angesehen hatten. Auch von Lamont war er am 25. Oktober 1845 wie am 7. September 1846 als vermeintlicher Fixstern achter Größe beobachtet worden. Aus diesen Daten haben sich nun die Elemente des Planeten, obwohl er seit seiner ersten Wahrnehmung kaum mehr als einen halben Umkreis um das Zentralgestirn durchlief, durch Le Verrier genau ermitteln lassen.

In nur 30 Sonnenweiten, statt 36 wie Adams, und 38 wie Le Verrier, sich auf die Titius-Bodesche Regel von den mittleren Entfernungen der Planeten stützend, angenommen hatten, oder einer mittleren Entfernung von 4487 Millionen km bewegt sich Neptun mit einer Geschwindigkeit von nur 5,4 km in der Sekunde um die Sonne, die ihn sogar auf diese ungeheure Entfernung hin durch ihre Anziehung meistert. Zu einem ganzen Umlauf um die Sonne gebraucht er 164 Jahre 321 Tage. Durch die ungemein kleine Exzentrizität seiner Bahn, welche nächst derjenigen der Venus die kleinste unter den Bahnen der Hauptplaneten ist, schwankt seine Entfernung von der Sonne zwischen 4413 und 4493 Millionen km; sein kleinster Abstand von der Erde beträgt 4260, sein größter dagen 4640 Millionen km.

Sein Durchmesser beträgt etwa 50251 km; seine Oberfläche ist

18mal und sein Volumen 55mal größer als die der Erde Da er aber nur die 16½fache Masse der Erde hat, so muß seine Dichtigkeit eine ungemein geringe sein. Sie ist 1,54, d. h. Neptun ist nur wenig schwerer als eine entsprechende Kugel aus Wasser. Das entfernteste Glied unseres Sonnensystems hat $^1/_{19700}$ der Sonnenmasse, ist also an Masse der drittgrößte Planet. Nur Jupiter übertrifft ihn um das 18½fache, Saturn um das sechsfache. Ihm zunächst folgt dann Uranus mit einer um $^1/_7$ kleineren Masse. Auf ihm wiegt ein Erdenkilogramm 1,14 kg und ein freifallender Körper, der auf unserer Erde in der ersten Sekunde wie gesagt 4,9 m zurücklegt, würde auf ihm nur 4,4 m in derselben Zeiteinheit zurücklegen.

Dieser Neptun ist zwar kein Gasball, wie man früher vor Erfindung der Spekralanalyse vielfach vermutete, sondern ein verdichteter, mit einer, wenn auch dünnen Kruste versehener, noch sehr heißer fester Körper, dessen verwaschene Ränder nur von einer überaus mächtigen Dampfatmosphäre herrühren. Er kann unmöglich zu Leben irgendwelcher Art vorgeschritten sein, das infolge der überaus großen Sonnenferne auch nur höchst ungünstige Daseinsbedingungen fände; denn von ihm aus erscheint die Sonne nur etwa doppelt so groß als uns Venus während ihres stärksten Glanzes. Unter solchen Umständen kann ja von einer nennenswerten Erwärmung oder Beleuchtung keine Rede mehr sein.

Nur ein Mond umkreist, so viel wir bis jetzt wissen, den langsam dahinwandelnden Planeten. Obschon dieser die Größe des Erdmondes erreicht, erscheint er uns nur als ein Sternchen 14. Größe und ist für die Beobachtung ein überaus schwieriges Objekt. Von seinem Planeten, den er in 5 Tagen 21 Stunden 2 Minuten umkreist, ist er 14 bis 15 Halbmesser entfernt, was etwas mehr als die Entfernung unseres Mondes von der Erde ausmacht. Auch dieser Trabant kreist, wie die vier Uranusmonde, fast senkrecht zur Bahnebene des Neptun, was auf dieselbe durchgemachte Störung in längst vergangenen Zeiten hinweist.

Nach Analogie mit den übrigen großen Planeten ist es sehr wahrscheinlich, daß Neptun weitere Monde besitzt, die nur wegen ihrer überaus großen Entfernung von uns nicht mehr wahrgenommen werden können. Ein verdächtiges Objekt, welches Schäberle mit dem ausgezeichneten 36zölligen Refraktor auf dem Mount Hamilton am 24. September 1892 unter außergewöhnlich günstigen atmosphärischen Verhältnissen zu sehen glaubte, hat sich indessen nicht als zweiter Neptunsatellit erweisen lassen.

Digitized by Google

Das ist zur Zeit der Stand unseres Wissens über die verschiedenen Trabanten unserer Sonne, deren Zahl mit der optischen Kraft unserer Teleskope und der Vervollkommnung der Himmelsphotographie, die alljährlich größere Triumphe feiert, sich mit der Zeit ins Unermeßliche steigern wird, besonders im Hinblick auf die zahllosen Planetoiden, die in einem breiten Gürtel um die Sonne kreisen. Sehr lange haben sich die geschicktesten Rechner und Astronomen mit der Auffindung eines jenseits des Neptun, sowie auch an einem diesseits des Merkur um die Sonne sich bewegenden Planeten beschäftigt, ohne daß es bis jetzt geglückt wäre, solche Körper aufzufinden. Wenn auch deren Vorhandensein nicht ausgeschlossen ist, so ist doch die Möglichkeit deren Auffindung eine sehr geringe, denn ein cismerkurieller Planet dürfte infolge seiner Kleinheit und ein transneptunischer durch seine außerordentlich weite Entfernung, die nach der Titius-Bodeschen Regel etwa 70 mal größer sein muß, als der Abstand der Erde von der Sonne beträgt, außerordentlich schwierig für uns sichtbar zu machende Objekte sein. Wir müssen uns eben hier mit dem Bewußtsein trösten, daß, so viel auch der Menschengeist bis jetzt von den Geheimnissen des Weltalls ergründet hat, weitaus das Meiste unserer beschränkten Erkenntnis verschlossen bleiben muß. Je größer unser Beobachtungsmaterial und unser Wissen wird, um so bescheidener werden wir, weil sich uns immer mehr das Bewußtsein aufdrängt, daß wir eigentlich noch gar nichts wissen von der Masse dessen, das wir wissen könnten und erkennen möchten. Schon der geniale Mathematiker und Astronom Graf Pierre Simon Laplace, dessen gewaltiger Geist die höchsten Einblicke in das Weltganze getan hatte, der mit äußerstem Scharfsinn die Störungen der Hauptplaneten entwickelte, und ein Weltsystem in seiner fünfbändigen, von 1709 bis 1825 erschienenen Mécanique céleste herausgab, in welcher er das gesamte Wissen seiner Zeit über die Himmelskörper niederlegte, tat in Zusammenfassung seiner Lebensarbeit als Schlußresultat seiner Erkenntnis in der Bescheidung eines Weisen auf seinem Totenbette im Jahre 1827 den denkwürdigen Ausspruch:

Ce que nous connaissons est peu de chose, mais ce que nous ignorons est immense!

Der Wahrheit dieser Sentenz müssen wir Nachgeborene je älter wir werden und je mehr unsere Erkenntnis wächst, um so entschiedener beipflichten. Unser Sonnensystem ist ja schon ganz unermeßlich groß und für unsere Fassungskraft viel zu kompliziert, und doch ist es vermutlich eines der kleinsten und bescheidensten Sonnensysteme unter den

Millionen von gleichartigen, nur teilweise noch viel größeren und deshalb wohl eine noch mannigfaltigere und zahlreichere Kinderschar um sich vereinigenden Geschwistern, die uns allein nur im Milchstraßensystem am Firmamente entgegenleuchten. In bewundernder Andacht staunen wir vor der Größe und Herrlichkeit der Schöpfung; denn Worte können nimmermehr den überwältigenden Gefühlen unserer eigenen Nichtigkeit in dieser riesigen Fülle der verschiedensten, teilweise gigantischen, Weltkörper Ausdruck geben. Und dies schon in unserem Sonnensystem, geschweige denn in anderen Sonnensystemen, deren unaussprechlicher Reichtum, den wir ahnungsvoll in unserem Geiste erwägen, uns vollends in stummes Erschauern vor der Erhabenheit des Weltalls versinken läßt.

IV.

Die Erde und der Mond.

Die Erde und der sie als einziger Satellit umkreisende Mond, der uns Menschen mit seinem sanften Licht das unheimliche Dunkel der Nächte erhellt und mit seinem Phasenwechsel den ältesten Zeitmesser darstellt, sind zwar nur unbedeutende Teile unseres Sonnensystems, aber da sie uns unsere Welt im eigentlichen Sinne des Wortes bedeuten, so verdienen sie nichtsdestoweniger eine eingehendere Würdigung in Bezug auf ihre Beschaffenheit als Weltkörper wie ihre übrigen Geschwister.

Während die älteste Menschheit in ihrem Wohnkörper, der Erde, eine flache, rings vom Wasser des Ozeans umflutete Scheibe sah, brach sich schon im klassischen Altertum die Ansicht von der Kugelgestalt der Erde, wenigstens bei einigen der erleuchtetsten unter den griechischen Weltweisen und der später von ihnen unterrichteten Römer, Bahn. Diese hohe Einsicht, die wir Pythagoras und seiner Schule um 500 vor Christus verdanken, war in der Folge bei den gebildeten Griechen und Römern zum vollen Bewußtsein gelangt. Schon Aristoteles gab drei Beweise für die Kugelgestalt der Erde. Aber im Mittelalter ging diese Erkenntnis völlig verloren, bis durch das Studium des überaus hochgeschätzten Aristoteles, den Alexander der Große seinen Lehrer hatte nennen dürfen, einige begabtere Köpfe die Lehre von der Kugelgestalt der Erde wieder aufnahmen. Die Überzeugung von deren Richtigkeit war es, welche den ruhmsüchtigen ehemaligen Tuchweber aus Genua, Christoforo Colombi, genannt Kolumbus, im Jahre 1492 zu seiner kühnen Fahrt nach dem unbekannten Westen führte, um auf diesem Wege nach dem reichen Indien zu gelangen. Dabei verließ er sich blindlings auf die Angaben des gelehrten Florentiners Paolo Toscanelli, der eine hypothetische Karte der unbekannten Westhälfte des Globus

auf Anfrage des Beichtvaters des portugiesischen Königs Alfons V. im Jahre 1474 zusammengestellt hatte, in welcher er den Erdgrad zu 98½ km, gegen 110⅒ in Wirklichkeit, annahm. Demzufolge, daß also die Erdkugel viel zu klein angenommen war, erreichte zwar der autoritätsgläubige Genuese nicht das Ziel seiner sehnlichsten Wünsche, er gelangte nicht nach Indien, obwohl er mit dem Gedanken es erreicht zu haben starb, wohl aber fand er eine neue Welt, von der man bis dahin keinerlei Ahnung hatte. Den unumstößlichen handgreiflichen Beweis von der Kugelgestalt der Erde lieferte erst der Portugiese Fernao de Magelhaens, der im Oktober 1520 im Dienste Karls V. die nach ihm benannte Meerenge durchfuhr und in den Stillen Ozean gelangte. Er selbst wurde zwar in einem Gefecht gegen die Eingeborenen der Karolinen erschlagen, aber seine Schiffe bewiesen durch ihre Rückkehr nach dem spanischen Hafen, von dem sie ausgegangen waren, wobei sie um einen Tag des Kalenders zurückgeblieben waren, daß die Erde wirklich ein frei im Raume schwebender, nach allen Richtungen hin begrenzter Körper sei.

Nachdem die Annahme der Kugelgestalt der Erde einmal gegeben war, mußte sich dem forschenden Menschengeiste als eines der wichtigsten Probleme die Aufgabe aufdrängen, die Größe der Erde zu bestimmen. Schon 200 Jahre vor dem Beginne unserer Zeitrechnung beschäftigte sich mit der Lösung derselben ein Mann, dessen Arbeit in dieser Richtung zu den glänzendsten Leistungen des Altertums auf dem Gebiete der Naturforschung gehört und ihrem Urheber einen unvergänglichen Namen in der Geschichte der Wissenschaft sichert. Eratosthenes aus Athen, ein Beamter der Bibliothek zu Alexandrien war es, der zuerst mit genialer Auffassung, wenn auch den Berichten nach mit sehr unzulänglichen Mitteln, das unternahm, was wir heute eine Gradmessung bezeichnen.

Aus der Beobachtung, daß die Sonne zur Zeit der Sommersonnenwende zu Syene in Oberägypten im Zenith steht, während zu derselben Zeit ihre Zenithdistanz in Alexandrien 7° 12″ beträgt, berechnete er in Verbindung mit der durch die äußerst sorgfältigen Katastervermessungen der ägyptischen Steuerbehörden und durch Angaben der Reisenden bekannten Entfernung zwischen beiden Orten den Erdumfang, in unserem Maße ausgedrückt zu etwa 46 400 km, während er bekanntlich etwa 40 000 km beträgt.

Die erste wirkliche Messung eines Meridianbogens, der beiläufig einem Winkel von zwei Grad entsprach, wurde von arabischen Astronomen auf Befehl des Kalifen Al Mamun in der Nähe von Bagdad aus-

geführt; diese ergab einen Erdumfang von 41200 km. Die dritte Messung nahm der französische Arzt und Mathematiker Fernel im Jahre 1525 zwischen Paris und Amiens vor, indem er die Länge eines Meridiangrades einfach dadurch bestimmte, daß er sie durchfuhr und auf die Anzahl der Drehungen seiner Wagenräder achtete, wobei er natürlich die Krümmungen des Weges, sowohl in der Seiten- als in der Höhenrichtung, in Rechnung zog. Er erhielt den Betrag von 40040 km. Auch der Engländer Norwood begnügte sich in den Jahren 1633 bis 1635 damit, die Strecke zwischen London und York mit der Meßkette auszumessen und bei dem Verfolgen der Wegkrümmungen beständig die Abweichung der Wegrichtung vom Meridian oder der Mittagslinie mit Hilfe der Magnetnadel zu bestimmen. Dabei ergab die Messung 40200 km für den Erdumfang.

Im Gegensatz zu diesen überaus rohen und ungenauen Versuchen hat der holländische Mathematiker Snell, latinisiert Snellius, bei der Bestimmung des Erdbogens zwischen Bergen op Zoom und Alkmaar in den Jahren 1615 bis 1617 zum ersten Male trigonometrische Messungen angestellt und damit diejenige Methode eingeführt, welche noch heute im größten Maßstabe angewandt wird. Sein Verfahren, das in der möglichst genauen Abmessung einer Basis besteht, von der aus die anliegenden Winkel und weiterhin noch beliebige anschließende Dreiecke bestimmt werden, verbesserte der Franzose Picard bei den in den Jahren 1669 und 1670 zwischen Amiens und Malvoisine vorgenommenen Messungen derart, daß es für den Erdumfang denjenigen Wert, nämlich 40036 km, lieferte, mit dessen Hilfe Newton die Richtigkeit seines schon längere Zeit vorher vermuteten Gravitationsgesetzes nachweisen konnte.

Etwa zu derselben Zeit tauchten aber Zweifel an der allgemein herrschenden Ansicht auf, daß die Gestalt der Erde genau kugelförmig sei. Man hatte nämlich die Bemerkung gemacht, daß Pendeluhren, deren Pendel in unseren Breiten genau Sekunden schlugen, in äquatoriale Gegenden gebracht, sich langsamer bewegten, so daß deren Pendel, um den richtigen Gang zu erhalten, etwas gekürzt werden mußten. Um nun diese Tatsache zu prüfen und genau festzustellen, sandte die französische Akademie eine Expedition unter Richer nach Cayenne. Aus den dabei gewonnenen Resultaten ergab sich in der Tat die Notwendigkeit, das Sekundenpendel um $1^3/_4$ Linien, d. h. 5 mm, kürzer zu machen.

Die Bewegungen des Pendels werden ja durch die Anziehungskraft der Erde bestimmt. Ergibt sich an einem Orte eine Verzögerung der Bewegungen, so kann daraus mit Sicherheit geschlossen werden,

daß die Schwere hier mit geringerer Energie das Pendel in seine Ruhelage zurückzuführen strebt, daß also die Anziehungskraft eine geringere ist. Da nun die Intensität dieser letzteren mit der Entfernung vom Erdmittelpunkte abnimmt, so lag die Folgerung nahe, daß die Erde keine vollständige Kugel darstelle, sondern um den Äquator angeschwollen, an den Polen aber abgeflacht sein müsse, wie etwa eine Orange. Eine solche Figur, deren Meridiane nicht Kreisen sondern Ellipsen gleichen, deren kleine Achsen mit der Erdachse zusammenfallen, bezeichnen wir als **Rotationsellipsoid** oder **Sphäroid**.

Zu demselben Resultate gelangten **Newton** und **Huygens** auf theoretischem Wege, indem sie von der Voraussetzung eines ursprünglich flüssigen oder wenigstens plastischen Zustandes der Erde ausgingen. Nach ihrer Ansicht mußte zu jener Zeit, in welcher die Erde flüssig oder plastisch war, der Körper infolge der Rotation um seine Achse durch die Wirkung der Zentrifugalkraft die Gestalt eines Rotationsellipsoides annehmen. Hätte unsere Erde diese Form nicht wirklich, so müßte in Folge der Zentrifugalkraft wenigstens das Wasser sich um den Äquator ansammeln, die Länder müßten also hier überschwemmt, die Polargegenden dagegen vollständig trocken gelegt sein.

Diese Lehre fand zunächst vielfachen Widerspruch, ja infolge einer von **Cassini** und **Lahire** am Ende des 17. Jahrhunderts in Frankreich unternommenen, doch, wie sich später herausstellte, nicht mit der gehörigen Sorgfalt ausgeführten Gradmessung sahen sich die Franzosen im Gegensatz zu Newton zu der Annahme veranlaßt, daß die Erde vielmehr eine verlängerte Achse habe, also etwa wie eine Zitrone gestaltet sei. Es erhob sich nun ein ziemlich lebhafter Streit über die wahre Gestalt der Erde, welcher erst durch den weiteren Verlauf der in der Folge immer sorgfältiger ausgeführten Gradmessungen endgiltig entschieden werden konnte.

Um eine diesbezügliche Entscheidung zu treffen, beschloß die französische Akademie einen Meridianbogen nahe am Äquator in Peru und einen andern gegen den Nordpol zu in Lappland ausmessen zu lassen. Die beiden Akademiker **Bouguer** und **La Condamine** begaben sich zu diesem Zwecke im Jahre 1735 nach dem Hochlande von Quito, zwei andere, **Maupertuis** und **Clairault**, zogen nach Lappland und führten dort ihre Messungen aus, die zwar den heutigen Anforderungen an eine Gradmessung nicht mehr genügen, aber für die damaligen Verhältnisse ganz gute Resultate gaben. Durch sie wurde die Abplattung der Erde an den Polen außer Zweifel gestellt.

Nachdem das Vorhandensein einer Abplattung durch die französischen Expeditionen nachgewiesen worden war, begann man auch in andern Staaten mit wachsendem Eifer bis in die Gegenwart hinein wiederholte Gradmessungen zur genauen Bestimmung des Wertes dieser Abflachung auszuführen. Eine Frucht der von 1792 bis 1808 vorgenommenen französischen Gradmessung war die Einführung eines neuen Maßsystemes, welches ein sogenanntes Naturmaß darstellen, d. h. eine von der Natur selbst gegebene Einheit als Grundlage haben sollte. Es wurde dazu der 40millionste Teil eines Erdmeridianes gewählt und derselbe als Meter bezeichnet. Allerdings entspricht dieser Meter, wie spätere Messungen darstellten, keineswegs dem Anspruch ein Naturmaß zu sein, aber die aus diesem Anlasse mit bedeutend verbesserten Mitteln ausgeführten Gradmessungen durch Triangulationen, welche sich von Dünkirchen bis Barcelona erstreckten, bilden einen bleibenden Gewinn für die Wissenschaft.

Nach dem heutigen Stande unserer Erkenntnis beträgt der äquatoriale Durchmesser der Erde 12755 km, der polare dagegen 12712 km, der Umfang am Äquator 40070 km. Die Abplattung an den Polaren von 43 km ist gleich $^1/_{296}$ des Durchmessers. Die Oberfläche der Erde faßt 510 Millionen qkm. Mit diesen der Wirklichkeit ziemlich nahe kommenden Maßen ist die Erde immerhin noch einer der kleinen Körper unseres Sonnensystems. Abgesehen von den Planetoiden sind von den Planeten nur Merkur, Venus und Mars kleiner, alle andern dagegen größer als sie. Die Durchmesser von Erde und Venus verhalten sich wie: 1:0,946, von Erde und Mars wie 1:0,829, von Erde und Merkur endlich wie 1:0,393. Dagegen verhält sich der Durchmesser der Erde zu demjenigen des Mondes wie 11:3.

Die Fläche des Ellipsoides ist die Gleichgewichts- oder Niveaufläche der in der Drehung begriffenen einst feuerflüssigen Erdmasse. Die Ebene, welche an jedem Orte der Richtung jener Fläche entspricht, ist die Horizontalebene, und die Schwerkraft ist überall senkrecht zu derselben gerichtet. Wenn auch die Erde nunmehr erstarrt ist, so glaubte man doch lange, daß die Oberfläche der sie bedeckenden Meere eine ellipsoide Form annehmen müßte. Deßhalb wurden alle Höhenmessungen auf das Niveau des Meeres als der idealen Oberfläche des Rotationsellipsoides bezogen. Diese Annahme ist aber falsch. Indem nach dem Gesetze der Schwere alle Körper sich gegenseitig im Verhältnisse ihrer Masse anziehen, das Festland aber schwerer als das Meer ist und ersteres dazu noch einen gewaltigen Sockel besitzt, auf dem es aus der

Meerestiefe zur Oberfläche heraufreicht, so muß ein wenn auch sehr langsames, so doch allmähliches Ansteigen des Meeresspiegels gegen die Küsten stattfinden.

Der Betrag dieser Anhäufung des Wassers an den Küsten muß ein sehr beträchtlicher sein. Ph. Fischer in Darmstadt hat schon in einem im Jahre 1868 erschienenen Werke berechnet, daß an der Westseite von Südamerika, wo die gewaltige Gebirgskette der Anden nahe am Strande sich erhebt, die durch die Anziehung dieses Gebirges bewirkte Emporhebung der Küstenlinie etwa 1000 m betragen muß. In der Mitte der Ozeane liegt demnach die Wasseroberfläche viel tiefer, d. h. dem Erdmittelpunkte unter gleicher geographischer Breite näher, als an der Küste des Festlandes, und die Strandlinie liegt auf isolierten Inseln niedriger als an den großen Kontinentalmassen. So liegt beispielsweise der Strand bei der Insel St. Helena mitten im Atlantischen Ozean gut 500 m tiefer als an der nicht sehr weiten afrikanischen Küste. Wenn das Meer in seiner Mitte ebensohoch stünde wie an seinen Rändern, würden alle ozeanischen Inseln bis auf die höchsten Berggipfel von ihm bedeckt. Dann hätten wir ein einfaches Rotationsellipsoid, so aber nennen wir die Erdkugel ein Geoid, da keine geometrische Figur sich mit ihr deckt.

Aus den hier angegebenen Gründen ist leicht einzusehen, daß das Meer sogar an verschiedenen Punkten ein und derselben Küste je nach der Konfiguration des Geländes, ob gebirgig oder flach, verschieden hoch steht und deshalb die Höhenangaben verschiedener Punkte der Erde in so und so viel Metern über Meer ganz falsch sind. Aus diesen Gründen hat man schon vor 12 Jahren auf allen preußischen Bahnhöfen die Höhenangaben in der Weise abgeändert, daß z. B. der Bahnhof Köln nicht mehr als 55 m über dem Meere angegeben ist, sondern als 55 m über Normalnull. Diese als N. N. bezeichnete Marke, nach welcher nun in ganz Deutschland nivelliert wird, liegt 37 m unter der Berliner Sternwarte.

Zwischen Venus und Mars, ersterer näher als letzterem, bewegt sich die Erde mit dem sie umgebenden Mond in einer mittleren Entfernung von 149,54 Millionen km in 1 Jahr von 365 Tagen 6 Stunden 9 Minuten 9 Sekunden um die Sonne. Die Erdbahn ist eine Ellipse von sehr geringer Exzentrizität, die der Kreisform sehr nahe kommt. Gegenwärtig beträgt ihr Wert 0,01677, wenn man, wie immer bei solchen Angaben, die halbe große Achse der Erdbahn gleich 1 setzt. Das heißt mit anderen Worten: Die Entfernung der Erde von der Sonne

in der Sonnennähe verhält sich zu derjenigen in der Sonnenferne wie 100 zu 103, oder auch: ist der mittlere Abstand der Erde von der Sonne = 1, so beträgt der kleinste Abstand in Sonnennähe 0,98, der größte in Sonnenferne dagegen 1,02. Nach Le Verrier kann sie zwischen den extremen Werten 0,07775 und 0,003314 schwanken in Perioden, die zwischen 50 000 und 200 000 Jahren variieren. Seit etwa 18 000 Jahren sinkt die Exzentrizität der Erdbahn von ihrem damaligen Wert 0,019 immer mehr, d. h. die elliptische Gestalt der Bahn unserer Erde nähert sich immer mehr der Kreisform, ohne sie jedoch jemals völlig zu erreichen. Ist nämlich die Exzentrizität nach beiläufig 25 000 Jahren auf etwa $^1/_4$ ihres jetzigen Betrages gesunken, so tritt wieder eine Zunahme derselben ein und die Bahn flacht sich wieder ab.

Auch die Neigung der Bahnebene gegen den Äquator verringert sich gegenwärtig beständig und zwar um etwa 48 Sekunden in einem Jahrhundert. Diese Abnahme wird fortdauern bis die Schiefe der Ekliptik von ihrem jetzigen Betrage von $23^1/_2$ Grad sich auf etwa $20^1/_2$ Grad verringert hat; dann beginnt sie wieder zu wachsen und steigt bis zu einem Werte von ungefähr $26^1/_2$ Grad an. Es kann nun nicht zweifelhaft sein, daß diese Änderungen in der Form und Lage der Erdbahn, die in ähnlicher Weise bei allen Planetenbahnen uns entgegentreten, sich in der Verteilung der Temperatur der Erdoberfläche bemerkbar machen werden, wenn auch die großen Klimaschwankungen, welche die Erde im Laufe ihrer geologischen Entwicklung durchzumachen hatte, nicht auf sie, sondern auf andere später noch zu besprechende Ursachen zurückgeführt werden müssen.

In ähnlicher Weise wie die Exzentrizität und die Neigung der Bahnebene verändert sich bei der Erde auch die Lage der Sonnennähe im Laufe der Zeit. Diese trifft jetzt am 2. Januar, etwas nach der Wintersonnenwende am 21. Dezember, ein. Dieser Zeitpunkt verschiebt sich in einem Zeitraum von $57^1/_2$ Jahren um einen Tag, so daß wir Bewohner der nördlichen Erdhälfte nach etwa 10 400 Jahren im Sommer in der Sonnennähe sein werden. Es wird dann auf der nördlichen Erdhalbkugel der Sommer wärmer und der Winter kälter als jetzt sein, da dann die Sonne gleichzeitig am tiefsten stehen und am weitesten von der Erde entfernt sein wird. Außerdem wird dann wegen der schnelleren Bewegung der Erde in ihrer Bahn in der Sonnennähe das Sommerhalbjahr 8 Tage kürzer und das Winterhalbjahr 8 Tage länger sein, die Verhältnisse also umgekehrt wie jetzt liegen. Eine geringe Milderung dieser Verhältnisse wird dann wohl die

gleichzeitig eintretende Verminderung der Exzentrizität der Erdbahn bewirken.

Die Länge der Bahn, welche die Erde in einem Jahre bei einem Umgang um die Sonne durchläuft, beträgt 936 Millionen km; daraus folgt, daß sie mit einer mittleren Geschwindigkeit von 29,7 km in der Sekunde im Raume dahineilt. Man wird sich einige Vorstellung von der Größe dieser Geschwindigkeit machen können, wenn man erwägt, daß die Fahrgeschwindigkeit eines Schnellzuges durchschnittlich etwa 16 m in der Sekunde beträgt. Die Erde aber bewegt sich 1900 mal schneller als jener fort. Und doch verspüren wir an der Erdoberfläche durchaus nichts von dieser überaus raschen Bewegung.

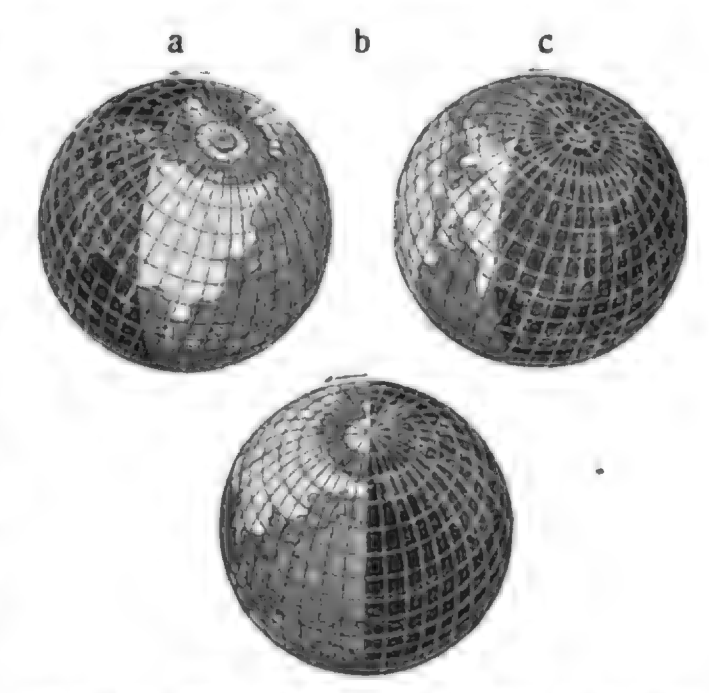


Fig. 18. Beleuchtung der Erde: a am 21. Juni, zur Sommersonnenwende, b am 20. März und 23. September, zur Zeit der Frühjahrs- und Herbst-Tag- und Nachtgleiche, c am 21. Dezember, zur Wintersonnenwende. Die Wendekreise sind gestrichelt angegeben.

Indem die Erde auf ihrem Weg um die Sonne sich in 24 Stunden einmal um sich selbst dreht, wobei ein Punkt am Äquator an der Meeresoberfläche gemessen, sich mit einer Geschwindigkeit von 464 m in der Sekunde weiterbewegt und innerhalb 24 Stunden einen Weg von 40 070 376 m zurücklegt, entsteht für uns **Tag und Nacht**, die auf der ganzen Erde gleich lang wären, wenn die Rotationsachse der Erde senkrecht zur Bahnebene stünde. Nun ist sie aber, wie wir bereits wissen, schief dazu gestellt, indem sie mit ihr einen Winkel von 23½ Grad, die **Schiefe der Ekliptik** geheißen, bildet.

Durch diese schiefe Stellung der Erdachse sind nur am 20. März und am 23. September Tag und Nacht gleich lang. Diese Termine bezeichnet man deshalb als **Tag- und Nachtgleichen**. Vom 20. März an nehmen die Tage langsam zu und die Nächte dementsprechend ab, bis am 21. Juni der längste Tag und die kürzeste Nacht für die Nordhalbkugel, umgekehrt der kürzeste Tag und die längste Nacht für die Südhalbkugel erreicht sind. Dann steht die Sonne senkrecht auf dem

Wendekreis des Krebses. Von da aus nehmen die Tage auf der Nordhalbkugel langsam ab, bis sie am 23. September gleich lang wie die Nächte sind. Dann steht die Sonne senkrecht auf dem Äquator. Weiterhin verkürzen sie sich auf der Nordhalbkugel noch mehr, bis am 21. Dezember der kürzeste Tag und die längste Nacht, auf der Südhalbkugel umgekehrt, erreicht ist. In jenem Zeitpunkte steht die Sonne senkrecht auf dem Wendekreis des Steinbocks. Und ganz entsprechend diesem Wechsel der Tage und Nächte wechseln die Jahreszeiten auf der Erde, indem während der längeren Tage die Sonne sich immer höher über den Horizont erhebt und durch Spenden einer entsprechend größeren Wärme- und Lichtfülle alles Leben von Pflanzen und Tieren begünstigt und steigert.

Da die Erdachse schief zur Ebene der Erdbahn gestellt ist, so hat die Sonne besonders am 21. Juni und 21. Dezember das Bestreben die Erde, welche am Äquator mehr Masse als an den Polen hat, d. h. dort dicker ist, mehr oder weniger aufzurichten. Dadurch und durch die Anziehung des Mondes entstehen periodische Schwankungen der Erdachse, welche der Astronom als Präzession und Nutation bezeichnet. Diese können allerdings wegen ihrer Geringfügigkeit keinerlei Einfluß auf die Temperaturverhältnisse der Erde gewinnen, sind aber für die astronomischen Beobachtungen von großer Bedeutung, weil sich dadurch die Lage der Weltachse verschiebt. So nähert sich gegenwärtig der Polarstern dem Nordpol bis zum Jahre 2095, dann entfernt er sich wieder bis nach 12000 Jahren Wega dem Nordpol nahe kommt und als Polarstern betrachtet werden kann.

Da die Erde sich in 24 Stunden jeweilen um den 365. Teil ihrer Bahn um die Sonne weiterbewegt, so muß das Sternjahr um einen Tag kürzer sein als unser gewöhnliches Sonnenjahr; deshalb ist auch der Sterntag nicht 24 Stunden lang wie der Sonnentag, sondern etwas kürzer, er beträgt nämlich 23 Stunden 56 Minuten 4,091 Sekunden.

Durch den Betrag der Gravitation läßt sich das Gewicht der Erde leicht bestimmen. Zuerst haben Hutton und Maskelyne in den Jahren 1774 bis 76 den Körperinhalt des isolierten Berges Shehallien in der Nähe von Perth in Schottland gemessen und daraus mit Hilfe der annähernden Dichtigkeit der Gesteine sein Gewicht bestimmt. Darauf beobachteten sie nördlich und südlich von ihm Lote, die aus an Fäden hängenden Bleikugeln bestanden, und maßen deren Abweichung von einer durch astronomische Beobachtung festgestellten Senkrechten auf beiden Seiten. Damit waren die Elemente für die Berechnung der

gesuchten Größe gegeben, und das Resultat war, daß die Erde als Ganzes 4,7 mal schwerer sei als eine gleich große Kugel aus reinem Wasser, d. h. also mit anderen Worten: das spezifische Gewicht oder die Dichtigkeit der Erde ist 4,7 mal größer als diejenige des Wassers.

Dieses Resultat konnte allerdings wohl noch kein sehr genaues sein; denn eine Wiederholung desselben Verfahrens mit größerer Genauigkeit am Berge Arthurs Seat bei Edinburg durch James im Jahre 1856 ergab eine mittlere Dichtigkeit der Erde im Betrage von 5,32. Wiewohl diese letztere Angabe der Wahrheit jedenfalls näher kommen mag als die frühere, so kann doch die ganze Methode der Bestimmung mittels Beobachtung der Lotablenkung durch Berge nicht als sehr zuverlässig und genau gelten, da die Ausmessung des Kubikinhaltes eines großen Berges, die Bestimmung der Lage seines Schwerpunktes und der Dichtigkeit der Gesteine, die ihn zusammensetzen, nie mit großer Genauigkeit vorgenommen werden kann.

Dasselbe gilt auch von der andern Methode, welche das Gewicht der Erde aus Veränderungen der Schwere auf hohen Bergen oder in tiefen Bergwerken durch die Zahl der Schwingungen eines Pendels zu bestimmen sucht. Durch solche Messungen fand 1821 Carlini am Mont Cenis 4,95, Mendenhall 1880 am japanischen Vulkane Fuschi-yama, dessen Gestalt sehr nahe einem Kegel entspricht und dessen Schwerewirkung relativ sicher berechnet werden konnte, 5,77 und Polston 1895 am Vulkanberge Habakala auf Hawai 5,13.

Bessere Ergebnisse ergaben die Messungen mit der Drehwage, womit Cavendish 1798 den sehr guten Wert der mittleren Erddichte von 5,45 fand. Noch feiner arbeiteten Cornu und Baille, die 1870 den Betrag zu 5,56 feststellten. Boys fand 1895 den Wert 5,527, Richarz und Krieger-Mendel 1897 **5,505**. Diese letztere Zahl scheint wohl die zuverlässigste, ist aber immer noch bis auf $^1/_{500}$, das ist gleich einem Irrtum von 2 g bei 1 kg Gewicht, unsicher. Im gewöhnlichen Leben käme nicht viel darauf an, aber hier macht es schon das neunfache Gewicht aller Meere aus. Wiegt nun 1 cbm reines Wasser 20 Zentner, so wiegt die Erde mit ihrem spezifischen Gewicht von 5,5 119 200 Trillionen (mit 18 Nullen) Zentner.

Dieses bedeutende Gewicht der Erde ist eine Tatsache von überaus hoher Wichtigkeit; denn abgesehen vom Meerwasser, das ein spezifisches Gewicht von 1,025 besitzt, wiegen die Gesteine der uns zugänglichen Erdkruste sehr viel weniger, nämlich durchschnittlich 2,7. Unter den Gesteinen ausgedehntester Verbreitung sind die vulkanischen die schwersten

und werden um so dichter, aus je größerer Tiefe sie als flüssige Magmen zur Oberfläche empordringen. Während der Granit und ähnliche Ergußgesteine ein spezifisches Gewicht von 2,7 besitzen, haben die aus größerer Tiefe heraufdringenden Basalte ein solches von 3,0, die Olivingesteine von 3,3 bis 3,5, Magneteisensteine von 4,9 und nur die schweren Metalle zeigen eine größere Dichtigkeit als der Erdkörper als Ganzes betrachtet.

Wenn nun die Massen, welche die Erdkruste bis zu beträchtlicher Tiefe zusammensetzen, so viel leichter sind, so muß in größeren Tiefen der Erdkern aus sehr schweren Körpern, aus Metallen, bestehen. Wie die Abflachung der Erde an den Polen ein Beweis dafür ist, daß sie einst gasförmig-flüssig war, so spricht das Ergebnis des Erdgewichtes in gleichem Sinne, daß sich bei ihr einst die schwersten Körper, d. h. die Edelmetalle, der Gravitation folgend in der Mitte sammelten und die weniger schweren sukzessive mit abnehmender Dichte sich darum herumlagerten, bis endlich die leichtesten Gesteine die äußerste Kruste bildeten. In der Reihenfolge ihrer spezifischen Gewichte müssen die Metalle im großen Ganzen einander nach außen hin folgen, wie etwa Iridium 22,4 Platin 21,5, Gold 19,3, Quecksilber 13,6, Blei 11,4, Silber 10,5, Kupfer 8,8, Eisen 7,8 usw. Das läßt es uns begreiflich erscheinen, daß eben auch die Schwermetalle an der uns zugänglichen Erdoberfläche so überaus selten sind und nur durch Niederschlag von Dämpfen, die aus größeren Erdtiefen stammen, oder direkt durch vulkanische Ergüsse aus dem Erdinnern an die Oberfläche gebracht werden. Deshalb heißt man sie, wie auch den Diamanten, der in der Erdtiefe gebildet wird, abyssisch oder anogen, d. h. aus der Tiefe heraufgekommen. Und gerade diese durch schmelzflüssige Gesteinsmassen bei Brüchen in der Erdrinde nach oben beförderten schweren Metalle, wie auch den Diamanten, finden wir in den aus dem Weltenraum auf die Erde herabgefallenen Meteormassen.

Nach unserer Kenntnis dieser Weltentrümmer, der Meteoriten, von denen späterhin eingehender die Rede sein soll, ist unter allen Schwermetallen das Eisen weitaus das vorwiegende und verbreitetste nicht nur in unserer Erde, sondern in allen Weltkörpern überhaupt. Schon in den Spektren der Sterne spielt unter den glühenden Metalldämpfen das Eisen eine Hauptrolle. Wir begegnen ihm in großer Menge in der glühenden Sonnenatmosphäre. Auch in den in der Sonnennähe aufleuchtenden Kometen ist es das vorherrschende Metall, das in ihnen durch starke elektrische Ströme zum Glühen gebracht wird. Und die Meteoriten endlich, die aus dem Weltenraum zu uns auf die Erde

stürzen, zeigen uns handgreiflich, daß das Eisen tatsächlich der verbreitetste Stoff, jedenfalls das weitaus gewöhnlichste Metall im ganzen Weltall ist. So dürfen wir, auch ohne tiefer in die Erde hinabzusteigen, was uns ja unmöglich ist, getrost behaupten, daß unsere Erde ganz wesentlich aus einem schweren Eisenkern besteht, der, unter der Einwirkung der von der Sonne ausgehenden mächtigen elektrischen Strömungen stehend, die Erde tatsächlich zu einem Magneten macht, dessen Pole an einander entgegengesetzten Punkten etwas abseits von den Erdpolen liegen.

Die Verteilung verschieden schwerer Massen in der Erde ist nämlich durchaus keine gleichmäßige, sondern eine verschiedene. Die Pendelschwingungen zeigen uns, daß unter Hochgebirgen, wie Alpen, Himalaya, Kaukasus, unter mittleren Gebirgen, wie dem Jura, auch unter alten Gebirgen, wie dem Schwarzwald, ebenso unter den Lagern alter kristallinischer Gesteine, wie in Böhmen und Mähren, und unter Hochebenen leichtere Gesteine liegen. Daß umgekehrt in vielen Flachländern, auf den Inseln und auf hoher See dichtere Massen liegen. Es bedeuten also die Auftürmungen der Erdkruste zu Gebirgen und Hochländern keine Vermehrung der Masse an den betreffenden Stellen, sondern diese Erhebungen werden durch ein weniger dichtes Gefüge ausgeglichen.

Das Gewicht der Erde kann aber weder im Ganzen noch in den einzelnen Teilen gleichbleiben. Die Geschichte der Erde zeigt einen beständigen Wechsel der Massenverteilung. Es sind viele Tausende von Metern mächtiger Gesteinsmassen abgelagert und wieder abgetragen worden. Durch die ungeheure Menge von Meteoren, die täglich und stündlich auf die Erde fallen, muß im Laufe langer Zeiträume das Gewicht der Erde langsam vermehrt werden. Wenn auch diese Meteore im einzelnen sehr klein sein mögen, so wirken sie doch durch ihr durchschnittlich hohes spezifisches Gewicht, das zum Teil 4,0 überschreitet, hauptsächlich aber durch ihre große Menge; denn auf den vom irdischen Staub verschonten Schneeflächen der Polargebiete hat man diesen an seinem Eisengehalt erkenntlichen kosmischen Staub, als letztes Überbleibsel der in der Lufthülle der Erde verpufften Meteoriten, in solchen Mengen gefunden, daß der Schnee mancherorts leicht braunrot verfärbt war. Aber auch der nicht so verfärbte Schnee der Polargebiete enthält Eisen als Beweis dafür, daß überall, wenn auch unseren Augen unsichtbar, beständig ein feiner Regen von kosmischem Staub zur Erde niedergeht. So hat Nordenskjöld große Mengen scheinbar sauberen Schnees auf Spitzbergen, mehr als 8000 km von jeder menschlichen Niederlassung entfernt, eingeschmolzen und erhielt daraus ein feines Eisenpulver. Denselben

eisenhaltigen Staub erhielt er auch aus reinem Schnee, den er in Skandinavien untersuchte, gleich wie Tissandier aus Schnee, den er in der Umgegend von Paris sammelte, ebenfalls einen eisenhaltigen Staub gewann.

Auch im offenen Ozean finden wir da, wo auch die feinsten Sinkstoffe der Flüsse nicht mehr hingelangen, weite Gebiete mit einem roten bis schokoladebraunen Schlamm, dem roten Tiefseeton bedeckt, der außer den Kalkschalen der pelagischen Foraminiferen, winziger einzelliger Planktontierchen, die sich nach ihrem Absterben von der Meeresoberfläche langsam zu Boden senken, und zu Staub zerblasenem vulkanischem Glas, sogenanntem Bimstein in feiner Form als eine Art Aschenauswurf der Vulkane, aus Braunstein und nickelhaltigen Eisenmassen besteht. Und diese letzteren, die gerade durch ihren Übergang in Rost dem Tiefseetone seine rote Färbung verleihen, sind nichts anders als aus den Himmelsräumen auf die Erde niedergefallener Meteorstaub. Die Menge desselben dürfen wir, wie später noch eingehender die Rede sein wird, auf weit über 20 Millionen kg jährlich rechnen, was mit der Zeit eine nicht zu unterschätzende Gewichtsvermehrung der Erde bedeutet, aber noch lange nicht genug ist, um Nordenskjöld Recht zu geben, der die Ansicht aussprach, daß die Erde hauptsächlich aus Meteorstaub aufgebaut sei, der sich nach und nach um einen verhältnismäßig kleinen ursprünglichen Kern angesammelt habe.

Aber ganz abgesehen von der Gewichtszunahme infolge Anreicherung der Erdmasse durch herabfallende Meteore und deren Staub, wird diese stets dichter durch fortschreitende Abkühlung ihrer einst feurig-flüssigen Masse an deren Oberfläche. Gehen wir von der Erdoberfläche in das Innere, so stoßen wir von einer gewissen Tiefe an auf eine immer steigende Erdwärme, die nicht wie die Wärme an der Oberfläche von der Sonne stammt, sondern dem Erdkörper als solchem eigentümlich und ein Ausdruck des in ihm vor sich gehenden Verdichtungsprozesses ist.

Die Temperatur der obersten Lage der Erdrinde ist lediglich von derjenigen der Atmosphäre, welche durch die Sonnenstrahlung bedingt wird, abhängig. Die Wärmeunterschiede von Tag und Nacht machen sich bei uns nicht tiefer als 60 cm im Boden fühlbar; weiter hinab dringen die Unterschiede der Jahreszeiten, die je nach der Lage und Leitungsfähigkeit des Bodens verschieden groß sind, bei uns aber nicht tiefer als 20 m hinabgehen. Dann kommt eine Schicht, in welcher der Einfluß der Jahreszeiten aufhört sich geltend zu machen und wo beständig die mittlere Jahrestemperatur des betreffenden Ortes ohne irgendwelche

Schwankungen herrscht. Das bekannteste Beispiel für dieses Verhalten zeigt der Keller der Pariser Sternwarte, in welchem in einer Tiefe von 27,6 m ein noch von Lavoisier aufgestelltes Thermometer unverändert wie vor 100 Jahren 11,6° C. aufweist.

Dringen wir weiter in die Tiefe, so wird der Boden immer wärmer und erschwert schon bei 300 m merklich die Arbeit. Sorgfältige Wärmemessungen in möglichst tief in die Erde gebohrten Schächten, von denen der tiefste in Rybnik in Oberschlesien 2003 m und der zweittiefste bei Schladebach zwischen Leipzig und Merseburg 1748 m tief ist, haben eine durchschnittliche Zunahme von 1° C. für je 39,5 m in die Tiefe Gehen festgestellt. Diesen Betrag nennt man die geothermische Tiefenstufe. Er kann je nach der Gesteinsart bedeutend wechseln; denn die Wärmeleitung der verschiedenen Gesteine ist eine sehr verschiedene. Je größer sie ist, um so langsamer nimmt die Wärme nach unten zu und um so größer sind deshalb die Tiefenstufen und umgekehrt. Gute Wärmeleiter geben die Wärme rasch ab; unter schlechten Wärmeleitern aber wird sie sich gleichsam stauen. Dabei wirken die in den Gesteinen zirkulierenden Wasser und Gase ausgleichend auf die Temperaturen ein. Diese tragen aber nicht nur die Wärme von einem Gestein zum andern, sie lösen auch chemische Vorgänge aus, welche ihrerseits wieder Wärmeänderungen bewirken. Besonders kleine Wärmetiefenstufen bis zu 10,5 m beobachten wir in der Nachbarschaft von wärmeabgebenden vulkanischen Gesteinen, und in Gebirgen mit Einlagerungen sich chemisch verändernder und dabei wärmeerzeugender Verbindungen, wie wir sie etwa bei der Oxydation der Schwefelmetalle oder bei der Umwandlung von Kupfersulfür in Kupfervitriol finden. Sehr große geothermische Tiefenstufen, die bis zu 70 m gehen können, zeigen sich dagegen in der Nähe von großen Wassermassen im Gebirge, die stark abkühlend wirken.

Die großen Tunnelbohrungen der letzten Jahrzehnte lehren uns, daß die geothermische Tiefenstufe unter den Erhebungen der Erdoberfläche größer ist als unter der Ebene, weil die Gebirge durch ihre vermehrte Oberfläche die Wärmeausstrahlung begünstigen und so kühlend wirken. Beim Treiben der wagrechten Stollen durch den Berg findet man allerdings eine ähnliche Temperaturzunahme wie in einem senkrecht in die Erde hinabgehenden Schachte, die von der Mitte des Berges nach der anderen Seite zu wieder abnimmt. Man durchdringt so verschiedene Wärmeschichten, die der Böschung des Gebirges in allgemeinen parallel wenn auch flacher verlaufen und überall da aus-

einandergehen, wo atmosphärisches Wasser, durch Klüfte des Gebirges zirkulierend, abkühlend wirkt, indem es dabei dem Berge Wärme entzieht und in um so heißeren Quellen zutage tritt, in je tiefere Schichten der Erde es eingedrungen ist. So hat man für den Gotthard, dessen Gesteinsschichten durch Faltung alle steil aufgerichtet sind und dadurch die Wärme leichter ausstrahlen lassen, eine geothermische Tiefenstufe von 54 m gefunden; im Simplon dagegen, wo wir unter der Haupterhebung des Gebirges nur liegende Falten haben, welche die Wärme besser zurückhalten, sinkt sie auf 35 m, so daß man dort im Tunnel eine Gesteinstemperatur von 56° C. fand, während in den weit weniger tief durch das Gebirge geführten Tunneln vom Gotthard und Mont-Cenis die Maximaltemperatur in der Mitte $31^3/_4$ beziehungsweise $29^1/_2$° C. betrug.

Aber auch bei diesen großen geothermischen Tiefenstufen erreichen wir schon bei 100 km Tiefe eine Temperatur von 2000° C., bei welcher beinahe alle Stoffe, die wir kennen, speziell die gewöhnlichen Bestandteile der Erdkruste und das Eisen des Erdinnern geschmolzen sein müssen. Man ist daher gezwungen, anzunehmen, daß schon etwa in $^1/_{100}$ der Tiefe eines Erdhalbmessers die Erde ausschließlich aus geschmolzenen feurigflüssigen Massen besteht, die unter einem ungeheuren Drucke stehen müssen. In vulkanischen Gegenden hat man das feuerflüssige Erdinnere infolge der sehr viel kleineren Tiefenstufe als noch viel näher der Erdoberfläche liegend vorauszusetzen. Wahrscheinlich gibt es da Stellen, wo das flüssige Magma nicht viel tiefer als einige km unter der Erdoberfläche liegt.

Wir kommen also zu dem sicheren Schluß, daß die feste Erdrinde nur eine unbeträchtliche Dicke haben kann und in einer Tiefe von etwa 60 km in eine feurig-flüssige Masse, das Magma, übergeht, welches wohl hauptsächlich aus einem Schmelzfluß von kieselsauren Verbindungen, sogenannten Silikaten, besteht. Bei dem hier herrschenden Drucke von 15000 Atmosphären sind diese Massen, denen sich in die Tiefe zu immer mehr schwere Metalle beimischen, bis sie endlich rein auftreten, sehr zähflüssig, plastisch. Etwa 300 km unter der Erdoberfläche nimmt schon alles den Gaszustand an, ist aber infolge des noch größeren Druckes ebenfalls plastisch, zähflüssig. Im Mittelpunkt der Erde wird der Druck etwa drei Millionen Atmosphären und die Temperatur etwa 100000° C. betragen. Unter solchem Druck verhalten sich die Gase vollkommen wie feste Körper.

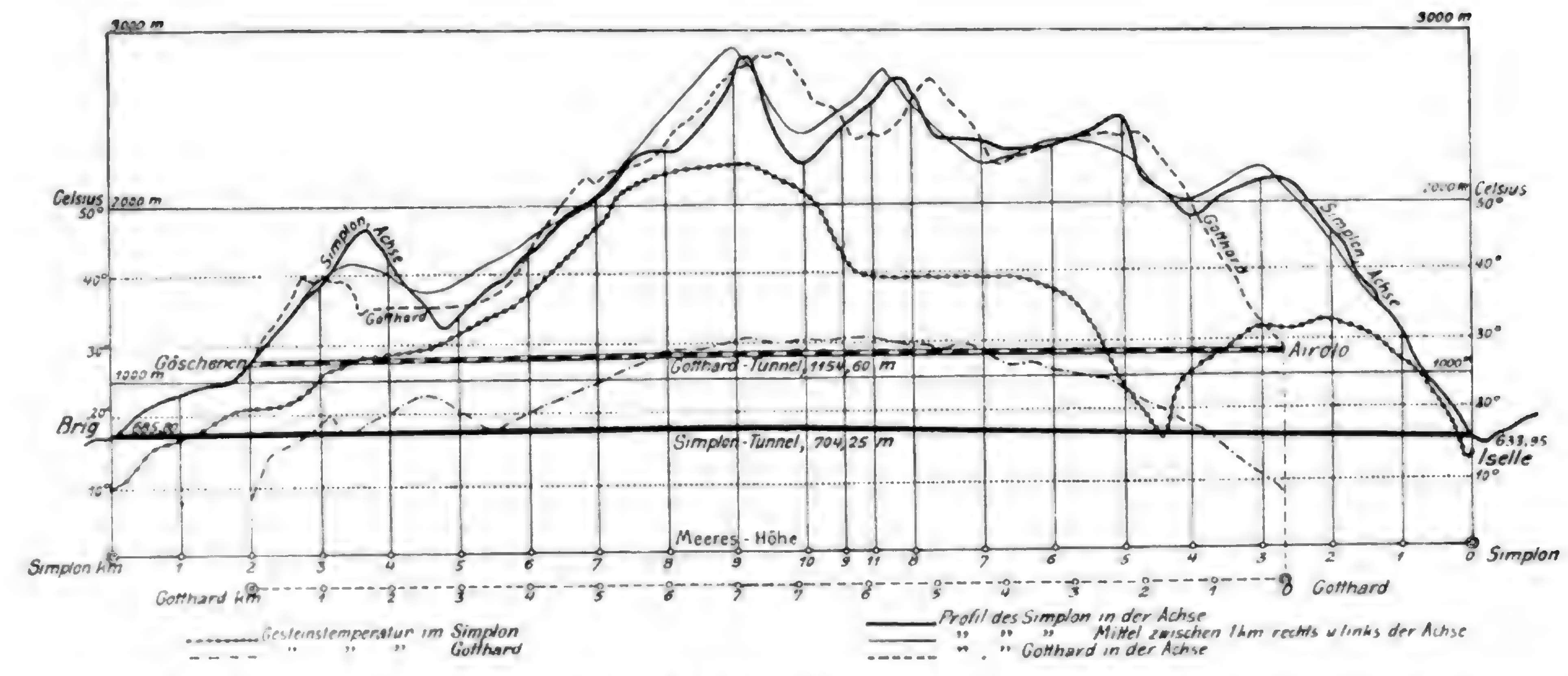


Fig. 19. Die Temperaturverhältnisse, welche bei der Durchbohrung von Gotthard- und Simplontunnel im Berginnern gefunden wurden nach Professor Karl Schmidt in Basel (Schweiz. Bau-Zeitung).

Die ungeheure Wärme, welche die Erde langsam durch ihren Verdichtungsprozeß erzeugt, indem sie sich der Schwere folgend zusammenzieht, gibt sie, weil sie ein warmer Körper in einer kalten Umgebung ist, ununterbrochen in dem Maße als sie sie bildet wieder ab. Dabei ist die Erdwärme in Hunderten von Millionen Jahren, soweit wir in der Geschichte der Erde zurückblicken können, im ganzen gleich geblieben.

Da in den Meeren die Temperatur mit der Tiefe abnimmt, so liegen diese als kalte Körper den warmen Landmassen gegenüber. Auch die tiefen Binnenseen sind kalt in die warme Erde gebettet. Von unten her werden nun diese kalten Massen durch die Erdwärme geheizt, so daß die allertiefsten Stellen stets eine etwas höhere Temperatur haben als die darüberliegenden. Aus der gleichen Ursache schmilzt auch das Inlandeis der Polargegenden auf der Unterlage, auf der es zu liegen kommt, mit der Zeit ab.

Für die Temperatur der Erdoberfläche kommt aber mehr noch als die Erdwärme die Strahlungswärme der Sonne in betracht, welche am Tage und während des Sommers den Boden mehr oder weniger stark erwärmt. Umgekehrt gibt dieser in der Nacht und im Winter einen Teil seiner aufgespeicherten Wärme ab. Je tiefer man aber in die Erde eindringt, um so geringer wird der Wärmeaustausch mit der Oberfläche. Während, wie wir sahen, am Land die Temperaturunterschiede von Tag und Nacht nicht tiefer als 60 cm und von Sommer und Winter nicht tiefer als 20 m in den Boden eindringen, ist dieser Betrag im Wasser wegen der sehr viel größeren Wärmeleitungsfähigkeit ein sehr viel größerer. So macht sich der tägliche Wechsel im Salzwasser bis 10 und im Süßwasser bis 5 m Tiefe bemerkbar, die jährlichen Wärmeschwankungen dagegen dringen im Meer nach Aimé nicht weniger als 300 bis 400 m, im Süßwasser dagegen nur 200 bis 250 m ein. Indem so die Wärme viel tiefer in das Wasser als in den Boden eindringt, speichern die Wasseransammlungen Wärme auf, was für den Haushalt der Natur von der größten Bedeutung ist.

Aber nur ein Teil der Sonnenstrahlen gelangt zur Erdoberfläche und erwärmt sie. Ein anderer Teil wird von der Lufthülle, welche die Erde umgibt, zurückgehalten und dient zu deren Erwärmung. Die Hauptwärme erhalten aber die tiefsten, der Erde aufliegenden Teile der Atmosphäre durch Rückstrahlung der Erdoberfläche. Dadurch, daß die Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, hält sie die Erdoberfläche warm, die sonst wie der Mond den schroffsten Temperatursprüngen ausgesetzt wäre, indem tagsüber bei senkrechter Sonnenstrahlung die Temperatur

etwa auf + 150° C. steigen, nachts dagegen auf — 100° C. fallen würde. Zugleich dient aber auch die Lufthülle der Erde dazu, die Oberfläche des Planeten vor den mit kosmischer Geschwindigkeit gegen sie anprallenden Meteoren zu schützen, die das Leben der darauf hausenden Lebewesen in höchstem Maße gefährden würden. Auch dieser Schutz fehlt unserm Trabanten, dem Monde, weshalb ein Aufschlagen von Meteoren auf ihm so häufig sein muß, daß wir in höchst ungemütliche Lage gerieten, wenn wir eines schönen Tages auf ihn versetzt würden.

Die Ausdehnung der Lufthülle der Erde ist eine sehr bedeutende. Ihr Gewicht wird in der Weise angegeben, daß man sagt, sie drückt auf die unter ihr liegende Erde wie eine 76 cm hohe Quecksilbersäule von derselben Grundfläche bei 0° C. Da nun das spezifische Gewicht des Quecksilbers bei 0° C. 13,6 beträgt, so wiegt eine Quecksilbersäule von 76 cm Höhe und 1 qcm Querschnitt 76 × 13,6 = 1033,3 g. Das Gewicht der Luftmasse übt demnach einen Druck von 1,0333 kg auf jeden qcm oder 10333 kg = 10,333 Metertonnen auf jeden Quadratmeter der Erde aus. Ihr Gesamtgewicht beträgt 52700 Billionen Metertonnen zu je 1000 kg. Das ist zwar ein ungeheures Gewicht, macht aber trotzdem nur den 1136000. Teil der ganzen Erdmasse und bloß den 252. Teil der Hydrosphäre, d. h. der auf der Erde ruhenden Wassermassen aus.

Da 1 Liter Luft bei 760 mm Druck, 0° C. und 45 Grad Breite am Meeresspiegel 1,293 g wiegt, so würde die Atmosphäre, wenn sie überall die gleiche Dichte besäße, eine Höhe von 7991 m oder rund 8000 m haben. Da aber mit steigender Entfernung von der Erdoberfläche die Schwerkraft entsprechend abnimmt, so muß die Atmosphäre tatsächlich um ein vielfaches dieser Zahl höher sein. Je näher der Erde, um so dichter ist natürlich die Luft, je weiter sie aber davon absteht, um so verdünnter wird sie, bis diese Verdünnung schließlich eine durchaus unmeßbare geworden ist. Man kann also infolgedessen die Höhe der Atmosphäre nur ganz approximativ angeben. Aus theoretischen Gründen wird die Höhe derselben nur zu 50 km angenommen. Die Dämmerungserscheinungen dagegen lassen auf eine solche von etwa 75 km schließen. Aber auch darüber hinaus, wo wir mit unseren Hilfsmitteln keine Spur Luft mehr nachweisen könnten, muß immer noch welche vorhanden sein. Das beweisen uns die Sternschnuppen, kleine Meteore, die auf ihrem Fluge um die Sonne mit kosmischer Geschwindigkeit an der Erde vorbeisausen und sich in den obersten Schichten der Atmosphäre so

stark erhitzen, daß sie dabei aufleuchten. Nicht selten erfolgt dieses Aufleuchten schon in 180 km über der Erde, ganz gewöhnlich aber in 120 bis 80 km. Also muß noch in diesen Höhen so viel allerverdünnteste Luft vorhanden sein, daß ihre Kompression eine Erhitzung der Meteore bewirkt. Zu denselben Resultaten gelangt man auch durch die Beobachtung der Höhe der Polarlichter, die ja durch Induktion von elektrischen Stürmen auf der Sonne in den oberflächlichsten Schichten der Atmosphäre erzeugt werden. Im Mittel spielen sie sich in Höhen von 110 km ab, können aber auch bis 200 km und mehr steigen.

Weil die Hauptwärme von der festen Erdoberfläche an die Atmosphäre ausstrahlt, so sind natürlich die unmittelbar der Erde aufliegenden Schichten der Lufthülle am wärmsten. Indem diese untersten Luftschichten bei Tage erwärmt und dadurch leichter werden, steigen sie zu immer größeren Höhen hinauf und kühlen sich dabei um etwa 1° C. pro 100 m Aufstieg ab. Dieses Spiel geht so lange vor sich, bis die ganze Luftmasse bis zu einer bestimmten Höhe ein solches Temperaturgefälle zeigt. Dies erstreckt sich im Sommer bis zu Höhen zwischen 1000 und 2000 m, im Winter etwas weniger. Aber zuletzt wird die aufsteigende Luft so stark abgekühlt, daß sie den mitgeführten Wasserdampf nicht mehr in Gasform zu erhalten vermag. Derselbe verdichtet sich dann zu feinsten Wasserkügelchen und erscheint uns in Form von Wolken. Von da an sinkt das Temperaturgefälle nach oben. Daraus geht hervor, daß die täglichen Temperaturschwankungen mit steigender Höhe abnehmen müssen.

Je nach der geographischen Breite und Jahreszeit, der Höhe über Meer und der Bewölkung schwankt der jährliche Gang der Lufttemperatur. Die Gesamtheit dieser Einflüsse bedingt das Klima des betreffenden Ortes. Im Sommer wird die Luft jeden Tag etwas höher hinauf erwärmt. Aus Beobachtungen bei Ballonfahrten und mit Drachen kann man schließen, daß sich diese Erwärmung im Hochsommer bis zu etwas über 1000 m Höhe geltend macht. Im allgemeinen nimmt die Luftwärme, in den untersten Schichten wenigstens, um etwa 1° C. bei 100 m Erhebung ab und erreicht erst an ihrer äußersten Grenze den absoluten Nullpunkt von — 273° C., welcher die Temperatur des Weltraumes bedeutet. Schon in 6 km Höhe ist die Temperatur der Luft, welche mindestens auf 20° C. gesunken ist, so niedrig, daß der Wasserdampfgehalt nicht mehr ihr Temperaturgefälle in nennenswertem Maße zu beeinflussen vermag. In etwa 10½ km Höhe bewegt sich zwischen

kälteren Schichten ein wärmerer Luftstrom, in welchem die Temperatur bis um 10° C. steigt, um dann nach oben bald wieder abzunehmen. Diese sogenannte umkehrende Schicht, die man erst in neuester Zeit durch die intensivere Erforschung der Lufthülle gefunden hat, steigt und fällt natürlich mit den Schwankungen des Luftdrucks, welche ihrerseits wieder durch die höchst ungleiche und stetsfort sich ändernde Wärmeverteilung in der Atmosphäre der verschiedenen Gebiete der Erde erzeugt werden. Überall da, wo die Luft erwärmt wird, dehnt sie sich aus, wird leichter und steigt, während die umgebende kältere Luft an deren Stelle strömt. Dadurch entstehen Strömungen in der Atmosphäre, welche bei einiger Stärke uns als Winde entgegentreten.

Ein einfaches Beispiel hiefür geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter Wind, der Seewind, weil das feste Land unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen stärker als das Meer erwärmt wird. Dadurch steigt über dem Lande die Luft in die Höhe und fließt oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten zu strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auch auf dem Meere schon in größerer Entfernung von der Küste. Zwischen 2 und 3 Uhr nachmittags wird er am stärksten und nimmt dann langsam wieder ab, bis gegen Sonnenuntergang Windstille eintritt. Nun erkalten Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den kalten Himmelsraum; das Land erkaltet aber rascher als das Meer, das sich zwar weniger rasch erwärmt, aber dafür auch die aufgenommene Wärme weniger schnell wieder abgibt. Nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom schnell abkühlenden Lande her gegen das wärmer bleibende Meer, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Luftströmung stattfindet.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Kondensation oder Verdichtung des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch eine ungeheure Wassermenge während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muß, als es noch in Dampfform in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, daß durch die rasche Kondensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und daß die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen

muß, um so mehr, als da, wo die Verdichtung der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die dabei freiwerdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird.

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in noch anderer Richtung als die tieferschwebenden; daraus geht hervor, daß in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedenen Richtungen stattfinden.

Wegen der bedeutenden Erhitzung des Äquators steigt dort die erwärmte Luft in die Höhe, erhebt sich über die kälteren Luftmassen zu beiden Seiten des Gleichers und strömt dann in Höhen von 4000 m polwärts ab, wie man am Fluge der vulkanischen Asche beobachten konnte, während unten die Luft aus höheren Breiten dem Äquator zuströmt. Diese letzteren, gegen den Äquator gerichteten Luftströmungen, welche man als Passatwinde bezeichnet, würden auf der nördlichen Halbkugel gerade von Norden nach Süden, auf der südlichen Hemisphäre dagegen in entgegengesetzter Richtung wehen. Da sich aber die Erde von Westen nach Osten dreht und das sie umgebende Luftmeer an der Rotationsbewegung teilnimmt, so werden diese Passatströmungen nach Westen abgelenkt und fließen auf der Nordhemisphäre von Nordosten nach Südwesten, auf der südlichen dagegen von Südosten nach Nordwesten. Die Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, bezeichnet man als die Region der Calmen, der Windstille.

In größerer Entfernung vom Äquator senkt sich der obere Passat, den man auch Gegenpassat nennt, weil er dem an der Erdoberfläche wehenden Passat entgegengesetzt läuft, mehr und mehr gegen die Erdoberfläche nieder. So herrschen auf dem Gipfel des 3760 m hohen Piks von Tenerife fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel der untere Passat weht. Der obere Passat senkt sich immer mehr und erreicht auf der Nordhalbkugel als Südwest-, auf der südlichen dagegen als Nordostwind den Boden. Außerhalb der Region der Passatwinde gehen daher die beiden Luftströmungen, welche die Luft oben herum, vom Äquator zu den Polen und unten von den Polen zum Äquator führen, nicht über- sondern nebeneinander, sie streben also sich gegenseitig zu verdrängen. Bald erlangt der Südwest, bald der Nordost die Oberhand, und bei dem Übergange aus einer dieser Windrichtungen in eine andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen der Windrose wehen. Bei uns bringen dann die warmen, mit Wasserdampf gesättigten, vom Meere her über Europa wehenden Südwestwinde Regen, die kalten,

trockenen, vom asiatischen Festlande oder aus dem Norden wehenden Nordostwinde dagegen im allgemeinen durch Aufhellen der atmosphärischen Trübungen schönes Wetter.

Außer diesen allgemeinen gibt es auch lokale Winde. Indem beispielsweise die Sonne auf einen Bergabhang oder in ein Tal scheint, erwärmt sich dort die Luft, besonders in der Nähe des Erdbodens, und steigt dort als Talwind in die Höhe. In der Nacht dagegen kühlen sich die Bergabhänge und besonders der Talboden stark ab und es entsteht ein in umgekehrter Richtung wie der vorige strömender Bergwind. Diese Berg- und Talwinde machen sich besonders stark in engen Tälern von relativ großer Längsausdehnung bemerklich, wie z. B. im Engadin oder im Wallis. Dabei sind die bei Tage herrschenden Talwinde, wie die Seebrisen, kräftiger entwickelt als die nächtlichen Berg- bezw. Landwinde. So hüllt der aufsteigende Luftstrom die Berge nachmittags in einen Wolkenschleier, während sie in den Morgenstunden klar sind. Die Talwinde üben auf die relative Feuchtigkeit an den Bergabhängen denselben Einfluß aus wie die Seebrise auf die Feuchtigkeit der Küstengegenden.

Im Winter sind die Kontinente kälter als die Meere, während des Sommers dagegen verhält es sich umgekehrt. Dieser Umstand veranlaßt eine jährliche Periodizität der Windrichtung. Diese ist wegen der Konfiguration des asiatischen Kontinents an der Küste des Indischen Ozeans am stärksten entwickelt, und der Name Monsune, den die Winde mit jährlicher Periode in diesen Gegenden führen, ist auf die ganze Erscheinung übertragen worden. Über dem Indischen Ozean weht der Wind während des Winters in derselben Richtung wie der Passat, also von Nordosten. Der Passatwind wird dadurch so verstärkt, daß er den Äquator überschreitet, wobei er infolge der Erddrehung eine mehr ost-westliche Richtung erhält. Die Zone der Kalmen fällt dann südlich vom Äquator.

Während des Sommers der nördlichen Halbkugel weht der Monsun von Südwesten nach der südasiatischen Küste. Durch seine Heftigkeit verhindert er die Entwicklung des Passatwindes nördlich vom Äquator. Der Südostpassat der südlichen Halbkugel überschreitet den Äquator und wendet sich dann gegen Osten, wobei er direkt in den Südwestmonsun übergeht, so daß keine Windstillengegend in dieser Jahreszeit im Indischen Ozean vorhanden ist. Dieser Sommermonsun ist viel heftiger als der Wintermonsun, weil der Temperaturunterschied zwischen Land und Meer in diesen Gegenden im Sommer viel stärker ist als im Winter. Während

der Sommermonsun Höhen von 3,5 bis 4,5 km erreicht, gelangt der Wintermonsun nur in solche von 1,5 bis 2,0 km. Wegen ihrer langen Dauer entwickeln sich die Monsunwinde begreiflicherweise zu viel größerer Stärke und Mächtigkeit als die Land- und Seewinde.

Im allgemeinen bewegt sich alle strömende Luft in Wirbeln. Während die bisher besprochenen Winde sich um eine horizontale Achse drehen, wobei die obere rückfließende Bewegung der Luft den Beobachtern an der Erdoberfläche weniger bemerkbar ist, so daß die Wirbelnatur erst bei einer genaueren Untersuchung hervortritt, ist die um eine vertikale Achse vor sich gehende Wirbelbewegung, die uns in den Cyclonen und Anticyclonen entgegentritt, sehr viel deutlicher ausgesprochen. Überall, wo Teile der Erde besonders stark erwärmt werden, steigt die infolge der Erwärmung leichter gewordene Luft in die Höhe, um oben seitlich wieder abzufließen. Umgekehrt ist der Vorgang bei starker Abkühlung derselben. Dadurch entstehen barometrische Minima und Maxima. Bei letzteren wehen die Winde auf der nördlichen Halbkugel von oben betrachtet im Sinne der Bewegung des Uhrzeigers, bei ersteren dagegen in umgekehrter Richtung.

Die infolge eines lokalen Temperaturmaximums durch einen starken Auftrieb der erwärmten Luft sich bildenden Cyclone wandern bei uns in der gemäßigten Zone längs bestimmter Zugstraßen, die mehr oder weniger von Westen nach Osten gerichtet sind. Dabei können sie allmählich an Stärke zu- oder abnehmen. Die Luft rund um das Zentrum bewegt sich in einer Art Schraubenlinie, wobei die unteren Winde meist zum Zentrum hinein, die oberen dagegen daraus heraus wehen. Eine Cyclone, deren horizontaler Durchmesser mehrere hundert, bisweilen sogar tausende von km erreicht, besitzt aber wegen der starken Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe nur eine Erhebung von 10 bis 15 km. Die zuströmende Luft füllt die Barometerdepression aus, die abströmende verstärkt sie. Nach derjenigen Seite, wo diese Verstärkung am meisten die ausfüllende Wirkung der zuströmenden Luft erhöht, bewegt sich das Zentrum der Cyclone hin. Dabei hemmt natürlich die Reibung der Winde an der Erdoberfläche die Bewegung der Cyclone und beschleunigt zugleich ihre Ausfüllung.

Die Linien gleichen Luftdrucks um ein Minimum verlaufen meist in Ellipsen und liegen in Westeuropa am dichtesten auf der Südseite der Cyclone, in Amerika und Rußland dagegen auf der Westseite. „Die Minima", sagt Svante Arrhenius in seinem Lehrbuch der kosmischen Physik, „sind von charakteristischen Wolkenbildungen und

Niederschlägen begleitet. Ihre Verteilung um das Minimum herum hängt sehr von lokalen Umständen und den Jahreszeiten ab. So z. B. führen die östlichen Winde auf der Ost- und Nordseite des Minimums an der amerikanischen Ostküste Niederschlag mit, weil sie vom Atlanten kommen. In Europa sind dagegen die Südwinde und Westwinde (besonders im Winter) warm und feucht und führen Niederschlag auf der Südwest-, Süd- und Südostseite der Depression mit. Auf der Nordseite

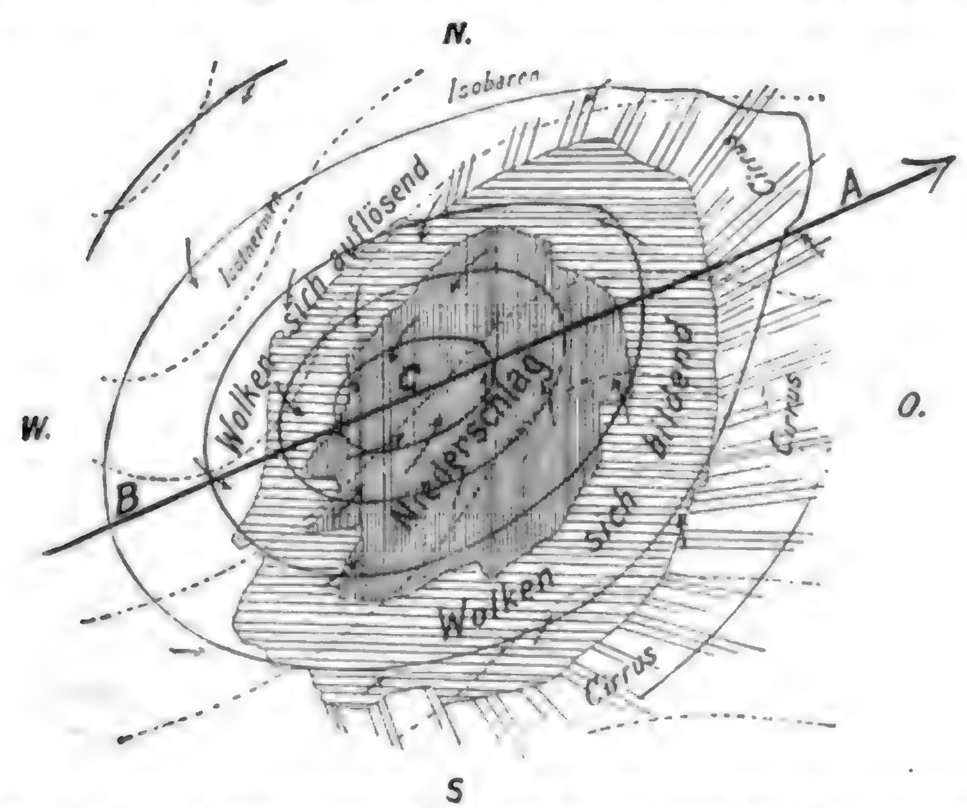


Fig. 20. Darstellung eines nach Nordosten wandernden Barometerminimums nach Svante Arrhenius, dabei sind Isothermen Linien gleicher Wärme, Isobaren solche gleichen Luftdrucks; Cirrus Federwolke, bestehend aus feinsten Eiskriställchen in etwa 10 km Höhe.

der Alpen sind die Süd- und Südostwinde trocken, auf der Südseite dagegen die Nord- und Nordostwinde, wie gewöhnlich in Europa. Obige Figur stellt die Verteilung der meteorologischen Elemente um ein nach Nordosten hin wanderndes Barometerminimum dar. Mit Hilfe derselben ist es leicht, sich über die Wolken- und Niederschlagsverhältnisse beim Vorüberziehen eines Minimums zu orientieren.

Das Minimum ist von einer Wolkendecke begleitet, welche in Europa die größte Ausdehnung nach Südosten besitzt, wo die warmen feuchten Süd- und Westwinde aufsteigen. Auf der Vorderseite ist es von einem Cirrusschirm (d. h. von den zarten, streifigen, aus feinsten Eiskristallen bestehenden, höchsten Wolken überhaupt, den Federwolken,

gebildet) umgeben, welcher schon vor dem Barometerfall als Vorbote des herannahenden Minimums erscheint. Näher beim Minimum gehen die Cirri in Cirro-Strati (d. h. federige Schichtwolken) und weiter hinein in dicke Alto-Strati (d. h. federige Haufenwolken oder Schäfchenwolken) über. Unter diesen erscheinen dann Fracto-Nimbi (d. h. streifige Haufenwolken), die weiter gegen das Zentrum zu in Regenwolken, Nimbi, übergehen. Der Niederschlag fällt in der Mitte und auf der Vorderseite der Depression. Auf der Hinterseite strömen kühle, trockene Winde herein, welche die Wolken auflösen.

Da der Ablenkungswinkel mit der Höhe zunimmt, wandern die Wolken, wenn man dem Winde den Rücken dreht, etwas nach rechts und dies um so mehr, je höher sie gehen. Der mittlere Winkel zwischen Windrichtung und Wolkenzug beträgt für Cumuli 14,5 Grad, für Cirro-Strati 23 Grad und für Cirri 30 Grad. Die Cirruswolken divergieren von dem Barometerminimum hinaus. Die mittlere Bewegungsrichtung der Luftmassen fällt nahezu mit derjenigen der Isobaren (d. h. Linien gleichen Luftdrucks) zusammen. Das Fehlen der Cirri an der Hinterseite der Cyclonen deutet auf eine absteigende Bewegung der Luft hin."

Die von der Lage der Cyclonen und Anticyclonen abhängende Luftdruckverteilung kann bisweilen heftige Stürme verursachen, denen lokale Verhältnisse, vornehmlich Richtung und Höhe der Gebirgsketten, besondere Eigentümlichkeiten verleihen. Der bekannteste dieser lokalen Winde ist der in den Alpen häufig vorkommende, stoßweise wehende warme Föhn, der gleicherweise auch im Felsengebirge Nordamerikas und an der Westküste Grönlands vorkommt. Bei uns entsteht er, wenn über Deutschland ein Luftdruckminimum, über der lombardischen Ebene dagegen ein Maximum steht und infolgedessen die Luft nach Norden über die Alpen gepreßt wird. Beim Aufstieg am Südabhang der Alpen kühlt sich die meist sehr feuchte Luft ab und läßt dadurch gewaltige Regenmengen fallen. Wenn nun diese Luft auf der Nordseite der Alpen wieder hinuntersinkt, steigt ihre Temperatur viel schneller, etwa um 1° C. per 100 m, an, als sie zuvor auf der Südseite sank. Deshalb kommt sie in den mittleren und nördlichen Alpentälern wärmer an, als sie am Südabhange dieser Bergkette aufstieg. Die Temperatur steigt plötzlich um 10 bis 12° C. und erzeugt bei der Trockenheit der Luft eine außerordentlich starke Verdunstung und rasche Schneeschmelze. Die Bäche schwellen infolgedessen plötzlich an, verursachen mehr oder weniger verheerende Überschwemmungen und bisweilen auch gefährliche Erdrutsche. In den engen Tälern des Rheins, der Linth, der Reuß und

der Rhone entwickelt sich der Föhn gelegentlich zu einem rasenden Orkan, der bei Feuerausbruch bisweilen ganze Dörfer und Städte einäschert, weshalb in der inneren Schweiz bei seinem Einsetzen alle Herdfeuer gelöscht werden müssen. Aber durch seine überaus viel Wärme bindende Wirkung und infolge der Berührung mit dem kalten Boden, über den er dahinfegt, verliert er bald seine charakteristischen Eigen-

Fig. 21. Cumulus- oder Haufen-Wolken. Blick vom Observatorium der Zugspitze gegen Süden. (Deutsche Alpenzeitung.)

schaften und ist bei seinem Austritt in die deutsche Ebene gewöhnlich in einen normalen Südwind umgewandelt. Im Frühjahr ist er am häufigsten, im Sommer dagegen am seltensten. Auf der Südseite der Alpen tritt er als sogenannter Nordföhn dann auf, wenn über dem Mittelmeer niedriger Luftdruck oder in den nördlichen Alpen hoher Luftdruck herrscht.

Der Scirocco der Nordküste Algeriens und Tunesiens, sowie in Nordsizilien und Süditalien, zeigt große Ähnlichkeit mit dem Föhn, indem auch er die Bergabhänge heruntersteigt, sehr trocken und außer-

Digitized by Google

ordentlich heiß ist. Kommt aber der föhnähnliche Wind direkt vom Meere, so ist er dagegen feucht und verdankt seine große Wärme nur den heißen Gegenden, aus denen er stammt. Bisweilen kommt aber die herabsteigende Luft aus einem so stark abgekühlten Hinterlande, daß sie trotz ihrer Erwärmung beim Abstiege große Kälte mit sich bringt. Das ist der Fall, wenn auf der nördlichen Halbkugel ein kaltes Hochland steil gegen ein warmes südlich davon gelegenes abfällt, wie z. B. die Küste der Provence unter den Seealpen oder die Küste Istriens unter dem Karst, oder endlich die Küste des Schwarzen Meeres unter dem Kaukasus. Dann weht, wenn über dem Hinterland ein Barometermaximum mit starker Kälte liegt, unter heftigen Stößen von 50 bis 60 m Geschwindigkeit pro Sekunde, besonders an Wintervormittagen, die eisige Bora oder der Mistral, der das Meer der Küste entlang zu hohen Wogen aufpeitscht, über welche sich dann eine Art von Nebel legt. Aber nicht sehr weit von der Küste erstirbt schon seine Wirkung.

Entgegen unseren gemäßigten Breiten ist in den Tropen der Gang des Barometers sehr regelmäßig. Nur äußerst selten wird er durch das Vorüberziehen eines Barometerminimums gestört. Dabei haben diese letzteren nur eine geringe seitliche Ausdehnung, aber dafür ist die Wirbelbewegung in ihnen eine um so heftigere, und sie stellen so durch ihre Gewalt oft große Verheerungen an. Meist heißt man sie Cyclone oder in den ostasiatischen Fahrwässern Typhone. Sie sind so selten, daß man für den gesamten Tropengürtel etwa 19 im Jahre rechnet. Davon entfallen auf Westindien zwei bis drei, auf den bengalischen Meerbusen zwei und auf den südindischen Ozean von den neuen Hebriden bis zu den Samoainseln vier jährlich. Infolge ihrer etwa zehnmal kleineren Ausdehnung als der bei uns üblichen Luftwirbel haben diese tropischen Cyclone eine außerordentlich starke Bewegung in sich, entwurzeln Bäume, stürzen Gebäude um und bringen Schiffe zum Sinken. Da sie aber eine erheblich geringere Mächtigkeit in vertikaler Richtung als die außertropischen besitzen, so lösen sie sich schon durch die starke Reibung an der Erde oder an verhältnismäßig unbedeutenden Höhenzügen auf. So wie sie in höhere Breiten gelangen, vergrößern sie auch ihre Höhendimensionen. Sie entstehen gewöhnlich an der Grenze zwischen dem äquatorialen Windstillengebiet und den Passatgegenden und folgen den atmosphärischen Bewegungen in den unteren Luftschichten.

Wie rund um ein Barometerminimum eine Cyclone mit auf der Nordhalbkugel links drehenden, nach innen zusammenlaufenden Winden entsteht, so bildet sich in ähnlicher Weise um ein Barometermaximum

Gipfel des Großvenediger (3660 m) mit überhängender Schneewächte.

Digitized by Google

eine Anticyclone mit rechtsdrehenden, an der Erdoberfläche auseinanderstrebenden Winden aus, die im Gegensatz zu den Winden der Cyclonen recht schwach sind, weil die Linien gleichen Luftdrucks sehr weit auseinanderstehen. Auch sie sind, wenn sie einigermaßen gut begrenzt erscheinen, meist elliptisch mit einem mittleren Längendurchmesser von gegen 8000 km und einem Breitendurchmesser von 5000 km. Sie treten am häufigsten im Winter auf und sind in Europa und auf dem Atlantischen Ozean in bezug auf ihre große Achse meist nach Osten, in Nordamerika dagen nach Nordosten gerichtet.

Typisch sind die großen Anticyclonen, in denen die Luft oft infolge starker Kälte langsam über einer großen Fläche hinabströmt. Dabei ist während mehrerer Tage und Wochen stetig schönes Wetter, im Winter mit großer Kälte verbunden, weil die Wärme stark von der Erde ausstrahlt. Die Luft ist ruhig und in den mittleren Teilen besteht vollständige Windstille. Während sie in Europa durchschnittlich mit 26 km Geschwindigkeit in der Stunde wandern, legen sie in Amerika in derselben Zeit 42 km zurück; deshalb ist in diesem Lande der Witterungswechsel auch viel heftiger, brüsker als bei uns.

Die Zusammensetzung der Atmosphäre, die für die Bewohnbarkeit der Erde von prinzipieller Bedeutung ist, indem alle Weltkörper ohne eine solche, wie wir sie in großer Zahl in unserem Sonnensystem angetroffen haben, von vornherein für die Existenz irgendwelcher belebter Wesen, wie wir sie kennen, ungeeignet sind, hat jedenfalls im Laufe der Erdgeschichte die größten Schwankungen durchgemacht. Zunächst sind alle leichten Gase, wie Wasserstoff und Helium, die sich in ungeheurer Menge in der äußersten Sonnenatmosphäre befinden, von der Erde verschwunden, indem sie vermöge ihres so geringen spezifischen Gewichts sich nicht in der Erdatmosphäre halten konnten, sondern dem allgemeinen Gravitationszentrum unseres Systems, der Sonne, zuflogen. So hat man bis vor kurzem das Helium, wie schon der Name sagt, für einen besonderen Sonnenstoff gehalten, der auf der Erde gar nicht vorkomme. Man hat aber neuerdings diesen Stoff in manchen Quellen und in anderen Ausscheidungen der Erdrinde gefunden und sogar entdeckt, daß er sich aus dem so überaus merkwürdigen Radium abspaltet, infolge seiner Leichtigkeit jedoch gleich davonfliegt.

Die Rechnung ergibt nun, daß alle Gase, die nicht wenigstens die doppelte Dichtigkeit des Wasserstoffs haben, über kurz oder lang aus der Erdatmosphäre verschwinden müssen. So ist es kein Wunder, daß wir nur schwerere Gase in ihr finden und

besonders solche, die wie der Stickstoff und das von Ramsay, Lord Raleigh und deren Mitarbeitern im Jahre 1894 entdeckte noch schwerere Argon, das 0,2 Prozent anderer Gase wie Neon, Krypton, Xenon und etwas Helium enthält, sich durch ihren absoluten Mangel an chemischer Reaktionsfähigkeit auszeichnen. Da sie keine chemische Verbindung mit den Stoffen der Erdrinde eingehen, konnten sie sich eben nach und nach in der Atmosphäre ansammeln.

Untersuchen wir die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft, so finden wir folgende Verhältnisse:

Stickstoff	78,16	Volumprozent	75,60	Gewichtsprozent
Sauerstoff	20,90	"	23,10	"
Argon und verwandte Gase	0,94	"	1,30	"
	100,00	Volumprozent	100,00	Gewichtsprozent.

Rechnen wir nun noch den mittleren Kohlensäuregehalt, der 0,044 Gewichtsprozente beträgt, und den mittleren Wasserdampfgehalt im Betrage von 0,28 Gewichtsprozenten dazu, so hat die atmosphärische Luft folgende Mengen von Gasen:

	Totalmenge		Menge pro qm Erdoberfläche	
Stickstoff	$398{,}4 . 10^{13}$	Tonnen	7812	kg
Sauerstoff	121,6 "	"	2387	"
Argon usw.	6,84 "	"	134,3	"
Kohlensäure	0,23 "	"	4,6	"
Wasserdampf	1,46 "	"	28,5	"

Sehr merkwürdig bei diesen Zahlen ist der auffallend hohe Gehalt an Sauerstoff und der überaus geringe Gehalt an Kohlensäure. Da doch $^8/_9$ vom Gewicht des Wassers und fast die Hälfte des Gewichtes der äußeren, uns zugänglichen Erdkruste aus Sauerstoffverbindungen bestehen, die eine gewaltige Menge Sauerstoff der Atmosphäre entzogen, so sollten wir vielmehr nur noch geringe Mengen Sauerstoff, dafür aber um so größere Mengen Kohlensäure, die beständig von den Exhalationen der Vulkane in die Atmosphäre abgegeben wird, erwarten.

Wir wissen nun bestimmt, daß die Atmosphäre in früheren Zeiten sehr viel reicher an Kohlensäure war als heute. Aber das im Haushalte der Natur so bedeutsame Pflanzenleben hat diese sonst in höherer Konzentration für die Tiere giftige Kohlensäure nach und nach verbraucht. Im Gegensatz zum Tier, das nur Sauerstoff aus der Luft aufnimmt,

um ihn in seinem Körper beim Lebensprozeß zu verbrennen und, mit dem Kohlenstoffe der Nahrung verbunden, als Kohlensäure wieder an die Luft abzugeben, nimmt die Pflanze vorwiegend Kohlensäure aus der sie umgebenden Atmosphäre auf, um diese in ihren durch das Chlorophyll oder Blattgrün ausgezeichneten assimilierenden Organen mit Hilfe der Energie der Sonnenstrahlen zu zersetzen und einerseits den Kohlenstoff daraus für sich zum Aufbau ihrer mancherlei Gewebe und Gewebssäfte zu behalten, den Sauerstoff aber an die sie umspülende Luft abzugeben.

Den Chlorophyllapparat gibt jede Pflanze sorgsam ihren Abkömmlingen schon in der Eizelle mit, damit sie sich seiner gleich beim Aufkeimen zum Aufbau ihrer Gewebe bedienen können. Dieser ist ursprünglich farblos und wird erst unter dem Einfluß des alles belebenden Sonnenlichtes grün gefärbt. Er ist neben den Stengeln dann hauptsächlich in den Blättern der Pflanzen als den eigentlichen Assimilationsorganen in höchster Ausbildung vorhanden. Die Blätter sind für die Pflanze zugleich die atmenden Lungen als auch das Verdauungsorgan.

An einem Sommertage von 15 Stunden werden per Quadratmeter Blattfläche etwa 25 g Stärke, die eine Verbindung von Kohlenstoff mit Wasser bildet, von der Pflanze erzeugt. Da durch das beständige Verdunsten von Wasser das Blatt etwas kälter als die es umgebende Luft ist, so tritt die in ihr abgekühlte Luft, weil schwerer geworden, durch die Spaltöffnungen der Unterseite der Blätter aus und wird beständig durch nachströmende wärmere ersetzt, welche, durch die Zwischenzellgänge des schwammigen Blattgewebes strömend, das bißchen in ihr enthaltene Kohlensäure an den Chlorophyllapparat abgibt. Da nun in 10000 Litern Luft nur vier Liter Kohlensäure enthalten sind, so muß ein Quadratmeter Blattfläche, um in der Stunde 1,5 g Stärke zu produzieren, von 6670 Litern Luft durchströmt werden. Dabei ist die Geschwindigkeit derselben nicht einmal 3 bis 4 cm in der Sekunde.

Auf diese überaus mühsame und umständliche Weise gewinnt die Pflanze ihren Lebensunterhalt und baut daraus ihren Körper auf, der dann in irgend welcher Weise, sei es direkt oder indirekt, vom Tiere verzehrt wird, um seinerseits die nötigen Baustoffe zum Aufbau seiner Gewebe und zum Lebensunterhalt zu gewinnen. Denn im Gegensatz zur Pflanze, die ihren Leib aus unorganischen Stoffen aufzubauen vermag, kann das Tier dies nur aus organischem Materiale tun. So ist es in seiner Existenz ganz auf die Pflanzenwelt an-

gewiesen, die ihm die Lebensmöglichkeit schafft, ihm nicht nur die organischen Verbindungen, sondern auch den Sauerstoff zum Leben liefert.

Gerade die Hälfte der festen Substanz einer getrockneten Pflanze besteht aus Kohlenstoff. Dabei wird die Kohlenstoffproduktion der Vegetation der Erde auf 13000 Millionen Tonnen zu 1000 kg im Jahre geschätzt. Diese durch die Vermittlung der Energie der Sonnenstrahlen in den kleinen Zellaboratorien der Pflanzen erzeugten Schätze an Kohlenstoff werden zum kleineren Teile durch die Tiere aufgenommen und zu Kohlensäure verbrannt, zum größeren Teile aber, sei es beim Verfaulen der Pflanzen oder beim Verwesen der Tierleiber, durch die Tätigkeit von winzigen Bakterien wieder mit Sauerstoff zu Kohlensäure verbunden. Nur ein ganz winziger Bruchteil dieser Pflanzenleiber gerät unter Luftabschluß im Wasser in eine Art trockener Destillation, wobei nach und nach der Sauerstoff und der Wasserstoff entfernt werden und schließlich nur der Kohlenstoff zurückbleibt. In der als Endprodukt der Verkohlung entstandenen Steinkohle ruht nun der Kohlenstoff, dem beständigen Kreislaufe der Elemente entzogen, bis die Kohle im Ofen oder unter dem Dampfkessel vom Menschen verbrannt wird. Dabei wird die von den Pflanzen vor ungezählten Millionen von Jahren aufgespeicherte Sonnenenergie wieder frei. Licht und Wärme verbreitend und dadurch Arbeit leistend verbindet sich beim Verbrennen der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff der Luft, um als Kohlensäure wieder in den Luftraum zu entweichen und aufs neue von den Pflanzen zur Assimilation verwendet zu werden.

Aber neben den kohlenstoffhaltigen organischen Verbindungen erzeugen die Pflanzen durch die Spaltung der Kohlensäure in den grünen Blattgeweben beständig entsprechend große Mengen von Sauerstoff. Und mag auch noch so viel Sauerstoff in anorganischen Verbindungen in der Erdrinde festgelegt und dem allgemeinen Kreislaufe der Elemente entzogen werden, die Pflanzen erzeugen ihn in solch überschüssiger Fülle, daß es nie an der so wichtigen Lebensluft für die Tiere mangeln kann. Alle die ungeheuren Vorräte an Sauerstoff, die in der Atmosphäre unseres Planeten aufgespeichert sind, um uns Menschen und den Tieren das Leben zu ermöglichen und zu unterhalten, sind ein Geschenk und Vermächtnis der in vergangenen Erdperioden im Sonnenlichte grünenden und assimilierenden Pflanzen, für das wir ihnen nicht dankbar genug sein können.

Bei der Bildung dieser gewaltigen Kohlenstoff- und Sauerstoff-

vorräte haben die Pflanzen der vergangenen Schöpfungsperioden ungeheure Mengen von Kohlensäure verbraucht. Diese muß deßhalb auch in früheren Zeiten in viel größerer Menge als heute in der Atmosphäre vorhanden gewesen sein. Dabei gediehen die Pflanzen der Vorzeit nur um so üppiger und entfernten durch ihre assimilierende Tätigkeit den

Fig. 22. Crozzon und Tosa (3176 m), schroffe Dolomitberge der Brentagruppe, welche ganz aus Kalkgerüsten, vornehmlich Schalen einst im Meere lebender und darin zu Boden gefallener, meist winziger Tierchen aufgebaut sind. In etwa 7000 m Höhe Cirrocumuli oder federige Haufenwolken. (Nach Phot. v. Würthle & Sohn.)

größten Teil der für die Tiere in größerer Konzentration giftigen Kohlensäure und ersetzten sie durch Sauerstoff, damit überhaupt erst ein Tierleben ermöglichend.

Neben den Pflanzen aber hat hauptsächlich die Verwitterung der Gesteine ungeheure Mengen von Kohlensäure verbraucht, indem in der Kälte, bei Gegenwart von Wasser die chemische Verwandtschaft derselben größer ist als die der Kieselsäure. Deshalb verdrängt sie in den Silikatgesteinen, die ganz wesentlich die Erdrinde zusammensetzen, an der

Digitized by Google

Oberfläche der Erde langsam die Kieselsäure, indem sie sich an deren Stelle mit den basischen Bestandteilen verbindet. Dabei lagert sich die verdrängte Kieselsäure mit einem Reste der noch übrigen Basen wie Kalk, Magnesia, Eisenoxydul am Grunde der Gewässer ab und bildet allmählich als Ton oder Sandstein gewaltige Erdschichten, die durch Druck erhärtet und infolge der zunehmenden Schrumpfung der Erde aus dem Meere gehoben zu Bergen sich auftürmen.

In Verbindung mit Kalk und teilweise auch Magnesia wird die Kohlensäure von zahlreichen, Schalen oder anderweitige Gerüste aus kohlensaurem Kalk aufbauenden Meerestieren gebunden, fällt als solcher zu Boden und bildet dort mit der Zeit gewaltige Schichten von Kalkstein oder Dolomit oder vereinigt sich mit einem Teile der zersetzten Silikate zu Mergeln. Die Hälfte des Gewichtes der mächtigen Kalkstein- und Kreideschichten, welche große Teile der Erdrinde ausmachen, besteht aus Kohlensäure, welche durchaus aus der Atmosphäre stammt und dem Kreislaufe des Lebens vorläufig entzogen ist. Nur ein winziger Teil dieser gewaltigen Mengen von kohlensaurem Kalk wird von kohlensäurehaltigem Wasser unter Bildung von Bicarbonat gelöst und dieses gibt in den Gewässern der Erde unter Freiwerden von Kohlensäure das nötige Material zum Aufbau der Gehäuse der Schalentiere und des Skelettes der Korallen und anderer Organismen ab.

Die auf diese Weise im Großen der Atmosphäre entzogene Kohlensäure wird durch die vulkanische Tätigkeit, welche, wie wir später sehen werden, im wesentlichen der Ausdruck eines Entgasungsprozesses infolge der fortschreitenden Abkühlung der Erde ist, ihr wieder zurückerstattet. Für diese der Atmosphäre stetig zuströmende Kohlensäure wirkt das Weltmeer, wie Schloesing meint, als ein großer Rezipient und zugleich Regulator, indem es etwa 83 Prozent der neugebildeten Kohlensäuremenge absorbiert, während nur $^{1}/_{6}$ derselben in der Atmosphäre zurückbleibt. Trotzdem nun das Meer als ein großer Regulator von fünfmal so großer Kapazität wie diejenige der Atmosphäre ist, so können doch leicht Störungen in der Kohlensäurebilanz eintreten, indem die vulkanische Tätigkeit in den verschiedenen geologischen Epochen der Erdgeschichte eine sehr wechselnde war.

So muß der Kohlensäuregehalt der Luft in Zeiten starker vulkanischer Tätigkeit ein ungleich größerer gewesen sein als in solchen verminderter vulkanischer Tätigkeit. Infolgedessen hat sowohl die Intensität des Pflanzenwachstums als auch die Energie der Verwitterung der Gesteine in den verschiedenen Zeitabschnitten

Digitized by Google

stark geschwankt. Sie nahmen beide proportional dem Quadrate des Kohlensäuregehaltes der Luft zu.

Im gleichen Maße stieg aber auch die Lufttemperatur an; denn je mehr Kohlensäure in der Luft enthalten ist, um so mehr Wärme wird auf der Erdoberfläche zurückgehalten und um so wärmer gestaltet sich das Klima. Ähnlich wie die Glashülle eines Treibhauses gewährt die Atmosphäre den wärmenden Sonnenstrahlen verhältnismäßig leicht den Durchgang und verschluckt gleichzeitig einen größeren Teil der von dem Erdboden zurückgeworfenen Wärmestrahlen. Noch stärker als die gewöhnliche Luft vermag die Kohlensäure die vom Boden ausstrahlende Wärme zurückzuhalten. Deshalb vermehrt sich mit dem prozentischen Wachstum des Kohlensäuregehaltes der Atmosphäre die Wärme der Erdoberfläche und der unteren Schichten des Luftmeeres. In gleichem Sinne bewirkt aber auch die Zunahme des Wasserdampfes einen erhöhten Wärmeschutz, indem er nicht nur die Erdstrahlung zurückhält, sondern auch einen großen Teil der Sonnenstrahlung absorbiert. Nur darf die Zunahme des Wasserdampfgehaltes nicht so hoch steigen, daß sich durch deren Kondensation eine ständige, mächtige Wolkenbedeckung ausbildet, da diese natürlich die Wärmestrahlen der Sonne nicht an die Erdoberfläche gelangen läßt.

Wie mit zunehmender Bewölkung die Sonnenstrahlung in geringerem Maße an die Erdoberfläche zu dringen vermag, so geht auch ein großer Teil derselben infolge von Ablenkung durch den besonders in den untersten Luftschichten schwebenden Staub verloren. 17 Prozent der Sonnenstrahlen vermögen deshalb überhaupt nicht bis zur Erdoberfläche durchzudringen, und etwa 13 Prozent kommen ihr durch Rückstrahlung wenigstens teilweise zu gute. In derselben Weise wie der Staub, einerseits durch die Verminderung der Einstrahlung der Sonnenwärme und anderseits, indem er die Wärmestrahlung der Erde frei durch sich hindurchgehen läßt, die Temperatur an der Erdoberfläche herabsetzt, wirken auch die Wolken, welche etwa die Hälfte der Sonnenwärme zerstreuen. Da nun aber durchschnittlich 52 Prozent unserer Erdoberfläche von Wolken bedeckt sind, so geht durch Wolken- und Staubbildung zusammen etwa ¼ der ihr von der Sonne zukommenden Wärme für sie verloren. Allerdings verhindern aber auch die Wolken nachts eine allzustarke Abkühlung durch Strahlung, die bei ihrem Fehlen in klaren Nächten eine sehr starke sein kann.

Die Veränderlichkeit der Temperatur an der Erdoberfläche ist über

den Kontinenten viel größer als über den Ozeanen oder in der Nachbarschaft derselben, wo ein mehr ozeanisches Klima herrscht, indem die Wassermassen, die sich viel langsamer als der Erdboden erwärmen, diese einmal angenommene Wärme auch viel länger behalten, also sehr viel langsamer als das Festland abkühlen. So mildern besonders die wenig tiefen Seen als eigentliche Wärmebehälter das Klima. Sie erhöhen im Herbst die Temperatur ihrer Umgebung mehr als sie dieselbe im Frühling erniedrigen. Den größten Teil der Wärme gibt das Wasser in latenter Form im Wasserdampf ab. So genügt beispielsweise die Wärme der Nordsee dazu, jährlich eine Schicht von 120 cm Tiefe abzudunsten.

Nachdem wir so in großen Zügen die Erde als Weltkörper betrachtet und auch der sie umhüllenden Atmosphäre in ihren mancherlei Beziehungen zu ihr die nötige Aufmerksamkeit geschenkt haben, verdient auch ihr Begleiter, der Mond, eine eingehendere Würdigung. Er ist bekanntlich der einzige Trabant der Erde, der sie, wie alle anderen Trabanten ihren Zentralkörper, in einer Ellipse umkreist. Wie wir bereits gesehen haben, drehen sich nun nach Newtons Gravitationsgesetz die einzelnen Planeten oder Satelliten nicht um den Mittelpunkt des betreffenden Zentralkörpers, sondern um den gemeinsamen Schwerpunkt des ganzen Systems. So kreist auch der Mond nicht um den Erdmittelpunkt, sondern um den gemeinsamen Schwerpunkt des Mondes und der Erde, welcher dem Monde um $^1/_{83}$ der Mondentfernung näher liegt als dem Erdmittelpunkt.

Dreißig Erdkugeln aneinander gelegt würden eine Brücke von uns bis zum Monde schlagen. Die Sonne dagegen steht gegen 400 mal weiter als der Mond von uns ab, und der allernächste Stern, Alpha im südlichen Sternbilde des Zentauren, ist reichlich 120 Millionen mal weiter von uns weg als der Mond. In einer mittleren Entfernung von 384 455 km, das ist nicht mehr als das neun- bis zehnfache des Erdumfangs, eine Strecke, die das Licht in wenig mehr als einer Sekunde durchläuft, kreist er in einer Ellipse, deren Exzentrizität 0,055 beträgt, in 27 Tagen 7 Stunden 43 Minuten $11^1/_2$ Sekunden einmal um die Erde. Es ist dies die sogenannte siderische Umlaufszeit. Etwas längere Zeit braucht er dagegen, um die verschiedenen Phasen seiner Beleuchtung abzuwickeln, nämlich 29 Tage 12 Stunden 44 Minuten 2,7 Sekunden, was wir als bürgerlichen Monat bezeichnen. Diese als synodische bezeichnete Umlaufszeit, sogenannt, weil man die Kirchenfeste und damit den Kalender nach ihr bestimmt, ist um diejenige Zeitspanne länger als die siderische, welche der Mond nötig hat, um in

dieselbe Lage zur Sonne zurückzukehren, in welcher er vor einem Monate stand, entsprechend der Strecke, welche die Erde mit ihrem Begleiter zusammen während dieser Zeit in ihrem Laufe um die Sonne zurückgelegt hat.

Die mit Perigäum bezeichnete Erdnähe verhält sich zum Apogäum, der Erdferne, wie 100 : 112. Im ersteren Falle nähert sich der Mond der Erde bis auf rund 363 800 km, im letzteren dagegen entfernt er sich 406 000 km von derselben. Demgemäß ist auch die Geschwindigkeit, mit welcher er sich in seiner Bahn um die Erde fortbewegt, sehr veränderlich. Während er nämlich in der Erdnähe im Mittel 1108 m in der Sekunde zurücklegt, beträgt seine Bewegungsgeschwindigkeit in der Erdferne nur 940 m.

Freilich darf man, um eine richtige Anschauung von der Fortbewegung des Mondes im Weltraume zu gewinnen, nicht allein seinen Umlauf um die Erde im Auge haben, sondern man muß bedenken, daß der Mond auch an der Bewegung der Erde um die Sonne teilnimmt, deren Geschwindigkeit 29 mal größer als seine eigene Umlaufsgeschwindigkeit ist. Hiernach erfolgt die Bewegung des Mondes im Raume in einer der Erdbewegung sich anschließenden sehr langgestreckten wellenförmigen Linie, deren seitliche Abweichung von der Mittellage zu einer ganzen Wellenlänge, wenn wir so sagen dürfen, sich wie 1 : 180 verhält. Auch begreift man sofort, daß die beiden Ausbuchtungen einer solchen Welle nicht genau von derselben Länge sein können, weil der Mond in einem Teil seiner Bahn in demselben Sinne wie die Erde, im andern Teil aber in entgegengesetzten Sinne sich bewegt.

Der Umlauf des Mondes um die Erde erfolgt nicht in derselben Ebene wie die Bewegung der Erde um die Sonne, vielmehr ist die Mondbahn in einem Winkel von im Mittel fünf Grad neun Bogenminuten gegen die Ekliptik geneigt. Deshalb kreuzt der Mond während eines vollen Umlaufs zweimal die Ekliptik. Die Punkte, in welchen dies geschieht, heißen die Knotenpunkte der Mondbahn und zwar unterscheidet man einen aufsteigenden und einen absteigenden Knoten, je nachdem der Mond in einen nördlich oder südlich von der Ekliptik gelegenen Teil seiner Bahn eintritt.

Infolge der wechselnden Anziehung des Mondes durch die allgewaltige Sonne und die kleine, aber nahe Erde erleidet er in seiner Bahnbewegung mannigfaltige, sich stets wieder ausgleichende Störungen, die nur für den Astronomen von Wichtigkeit sind, sonst aber keine Bedeutung besitzen, so daß wir kurz darüber weggehen können. Es

genüge hier zu bemerken, daß durch sie der Mond sich bis 407 110 km von der Erde entfernen und wiederum bis auf 356 650 km sich ihr nähern kann.

Der Durchmesser des Mondes beträgt 3482 km, das ist etwas mehr als $^1/_4$ des Erddurchmessers. Seine Oberfläche ist somit etwas über 38 Millionen qkm groß, das entspricht etwa $^1/_{13}$ der ganzen Erdoberfläche oder nahezu dem Vierfachen des europäischen Festlandes. Dabei ist sein Rauminhalt etwa $^1/_{49}$ des Volumens der Erde, nämlich 22100 cbkm, aber seine Masse ist nur etwa $^1/_{81}$ der Erdmasse, obwohl die Erde nur $49^1/_4$ mal so groß als er ist. Der Mond muß also durchschnittlich aus leichteren Stoffen als die Erde bestehen, und zwar verhalten sich die Dichtigkeiten beider wie 3 : 5, d. h. der Mond ist etwas mehr als dreimal so schwer als eine gleich große Kugel Wasser, während die Erde fünfmal so schwer als eine solche ist. Daraus ergibt sich, daß die Schwerkraft an seiner Oberfläche trotz der kleineren Entfernung vom Mittelpunkte der Anziehung, ebenso die Fallgeschwindigkeit bedeutend geringer als an der Erdoberfläche sein muß und zwar in dem Maße, daß ein bei uns 6 kg schwerer Gegenstand auf ihm nur noch 1 kg wiegt.

Fig. 23. Der Mond halb beleuchtet, im ersten Viertel, nach einem Photogramm der Licksternwarte in Kalifornien. Die einzelnen Krater und Wallebenen sind, soweit sie schräg von der Sonne beleuchtet werden, deutlich sichtbar, ebenso die dunkel erscheinenden, als Meere bezeichneten tieferliegenden Becken. Da das Bild durch das umkehrende Fernrohr aufgenommen wurde, befindet sich der Südpol oben.

Digitized by Google

Wenn auch eine Abplattung des Mondes an den Polen nicht wahrzunehmen ist, was bei der überaus langsamen Achsendrehung desselben nicht zu verwundern ist, so haben wir Grund zu der Annahme, daß er in der Richtung gegen die Erde zu und von ihr weg etwas auseinander gezogen sein muß, etwa wie ein Ei. An dieser Verlängerung hält ihn die Erde fest und zwingt ihn, ihr stets dieselbe Seite zuzukehren. Ebenso scheint die Massenverteilung im Innern sehr ungleichartig zu sein, indem nach Hansens Ermittelungen sein Schwerpunkt nicht mit seinem Mittelpunkt zusammenfällt, sondern von der Erde aus gesehen etwa 59 km jenseits des letzteren liegt.

Indem der Mond der Erde stets dieselbe Seite zukehrt, fällt bei ihm eine Umdrehung um seine Achse mit einem Umlauf um die Erde zusammen. Tag und Nacht währen auf ihm zusammen einen Monat von $29^1/_2$ Tagen und sind, fast unabhängig vom Stande des Mondes zur Sonne, nahezu gleich lang, weil die Umdrehungsachse des Mondes fast senkrecht auf der Ekliptik steht und der Mondäquator einen Winkel von nur $1^1/_2$ Grad mit derselben macht.

Während ein Beobachter auf dem Monde an der Sonne, wie an den übrigen Gestirnen, die auch uns bekannten Erscheinungen der täglichen Bewegung, wenn auch bedeutend langsamer als bei uns, wahrzunehmen Gelegenheit hätte, würde für ihn die Erde bei voller Beleuchtung als eine 13mal so groß als die Sonne erscheinende Scheibe, mit denselben je innerhalb 24 Stunden ablaufenden Phasen, wie wir sie am Monde beobachten, unverrückt für jeden Ort der ihr zugekehrten Mondhälfte verharren, höchstens etwa kleine Schwankungen um einen gewissen Mittelpunkt ausführen. Von der der Erde abgewandten Seite des Mondes würde man dagegen vom Vorhandensein einer Erde gar keine Ahnung haben, da man sie dort überhaupt nie zu Gesicht bekommt.

Die kleinen Schwankungen, welche die sonst wie am Himmel festgenagelte Erde für einen auf der ihr zugewandten Mondhälfte gedachten Beobachter ausführt, rühren zum Teil davon her, daß sich der Mond mit gleichförmiger Geschwindigkeit um seine Achse dreht, dabei aber ungleichförmig schnell in seiner Bahn fortschreitet, zum Teil sind sie aber auch der Ausdruck dessen, daß der Mond um eine gewisse Ruhelage schwingt. Infolge dieser als Libration bezeichneten Schwankung des Mondes sehen wir von der Erde aus etwas mehr als die Hälfte, nämlich fast $^4/_7$ der Mondoberfläche.

Bis jetzt hat man keinerlei Atmosphäre von merklicher Dichtigkeit auf dem Monde nachzuweisen vermocht. Daraus können wir zunächst

mit aller Sicherheit schließen, daß Leben, wie wir es auf der Erde beobachten, auf diesem Gestirne vollkommen ausgeschlossen ist. Weil die Lufthülle fehlt, so gibt es auch an den stets sonnenhellen Tagen keine gleichmäßig verteilte Helle, wie wir sie kennen, indem auf ihm das lichtzerstreuende Mittel fehlt. Sonne, Erde und Sterne leuchten dort bei Tage von demselben dunkeln Himmel wie bei Nacht.

Bei uns auf der Erde erscheint der Tageshimmel und die Luft in der Ferne blau durch die Reflexion der blauen und violetten Sonnenstrahlen an dem überall in der Atmosphäre enthaltenen feinen Staub. Dabei ist die Durchsichtigkeit der Luft in der heißen Jahreszeit durch das stärkere Aufwirbeln von Staub durch die aufsteigende wärmere Luft geringer als in der kühlen. Indem der Staub stark hygroskopisch ist und um so mehr Feuchtigkeit aus der Luft anzieht, je näher diese dem Sättigungspunkte steht, nimmt sowohl das Himmelsblau als auch der Farbenreichtum des Sonnenauf- und -untergangs zu, je reicher die Luft an Staub und Feuchtigkeit ist.

Auf dem atmosphärelosen Mond herrscht überall tiefste Finsternis, wo die gerade auftreffenden oder von den Bergwänden reflektierten Sonnenstrahlen nicht unmittelbar hingelangen. Die bei uns allenthalben zu beobachtenden mancherlei Abtönungen zwischen Licht und Schatten, die Wirkungen der Luftperspektive und der Strahlenbrechung, der blaue Himmel, die Erscheinungen der Dämmerung, die mannigfachen Wolkengebilde und alle die reizvollen Farbenspiele, welche die auf- und untergehende Sonne bei uns hervorzaubert, sind auf dem Monde ganz ausgeschlossen und völlig unbekannt.

Ebenso schroff wie der Abstand zwischen grellem Licht und vollkommener Finsternis dort herrscht, hat man sich auf dem Monde auch den Wechsel zwischen brennender Hitze und eisiger Kälte zu denken, da keine die Gegensätze vermittelnde Lufthülle auf ihm existiert. Der amerikanische Astronom Frank W. Very hat mit dem äußerst feinen von Langley erfundenen und als Bolometer bezeichneten Wärmemesser die Temperaturen des Mondes zu seinen verschiedenen Tageszeiten durch die Rückstrahlung bestimmt, die wir davon erhalten. Er fand, daß nach Ablauf der fast 15 Erdentage langen Nacht zur Zeit des Sonnenaufgangs die denkbar tiefste Temperatur, die wir als die absolute bezeichnen, nämlich — 273° C., herrschte. Als aber die Sonne sich nur um 10 Grad über den Horizont erhoben, sie also die betreffende Gegend noch nicht einen Erdentag lang beschienen hatte, war die Tem-

peratur schon auf — 46° C. gestiegen. Später, als dann die Sonne 20 Grad hoch am Himmel stand, wies die betreffende Mondoberfläche schon + 19° C. auf. Am Mondmittag, an welchem die Sonne senkrecht über dem Gesteine leuchtete, war dasselbe auf 180° C. erwärmt. Von da an nahm die Temperatur desselben langsam ab, war aber bei Sonnenuntergang schon auf — 200° C. gesunken.

Immerhin ist zu bedenken, daß diese Zahlen aus sehr geringen wirklich beobachteten Temperaturschwankungen theoretisch abgeleitet sind. Sie können also nur annähernde Werte liefern. Jedenfalls beweisen sie die allerschroffsten Temperaturwechsel. Unter solchen ungünstigen klimatischen Verhältnissen ist es begreiflich, daß auf dem Monde keine Lebewesen nach Art unserer irdischen existieren können, um so mehr als auch Luft und Wasser auf ihm in nachweisbarer Menge fehlen. Heute fehlt dem Monde vollständig Wasser in tropfbar flüssiger Form und selbst in Gestalt von Dampf bis auf minimale Spuren. Doch muß er einst unbedingt solches gehabt haben, so gut als eine wenn auch weniger stark als auf der Erde ausgeprägte Atmosphäre. Was man früher für Meere auf dem Mond ansah und als solche bezeichnete, sind vollkommen trockene, nur etwas dunkler gefärbte Stellen, die im Gegensatz zu den lichteren Partien relativ frei von Unebenheiten sind und vorzugsweise auf der Südseite der uns bekannten Mondhälfte vorkommen. Immerhin haben sie viele Ähnlichkeiten mit dem Boden eines ausgetrocknet gedachten Meeres auf der Erde, so vor allem die glattere Oberfläche und das tiefere Niveau gegenüber den als Land bezeichneten Stellen. Es muß ganz entschieden vormals in ihnen Wasser gegeben haben, wie es einst eine Atmosphäre dort gab. Und das einstige Vorhandensein von beidem macht es höchst wahrscheinlich, ja fast sicher, daß es dort auch organisches Leben in niederer Form, wie wir es etwa auf der Erde kennen, gegeben haben muß. Deshalb ist auch die Vermutung, die Dr. H. Voigt in der astronomischen Zeitschrift „Sirius" äußerte, daß nämlich ein großer Teil der besonders in den einst von Wasser bedeckten Landdepressionen vorhandenen Krater nicht vulkanischen Ursprungs, sondern ganz einfach Korallenbauten seien, durchaus nicht als absurd und unmöglich von der Hand zu weisen.

Daß einst Luft und Wasser auf dem Monde vorhanden waren, beweisen vor allem auch die äußerst zahlreichen, sicher durch einstige vulkanische Tätigkeit hervorgerufenen Vulkankrater, die allerdings im allgemeinen bedeutend größere Dimensionen als die irdischen Vulkane aufweisen. Zur Zeit ihrer Tätigkeit müssen sie dünnflüssige, leichte

Magmen in großer Menge hervorgebracht und weite Kessel, wie die ähnlich beschaffenen Lavaseen Maunakea und Maunaloa auf der Insel Hawai, erfüllt haben. Neben Wallebenen von über 200 km Durchmesser und großen Kratern mit schroffen Hängen gibt es Kraterchen von 1 km und weniger Durchmesser. Die Ringgebirge haben im Mittel 40 bis 80 km Durchmesser. Von solchen gibt es mehrere hundert, von Kratern dagegen viele tausende auf der uns zugänglichen Hälfte des Mondes.

Die großen, tiefer als die Umgebung gelegenen Wallebenen, die, wie beispielsweise das Mare Crisium, einen Durchmesser von 400 km aufweisen, können allerdings keine direkten Produkte des Vulkanismus sein. Teils sind sie Senkungsfelder oder Einsturzbecken, wie wir sie in unseren tiefen Meeren beobachten, teils aber auch glauben manche Astronomen ihre Entstehung darauf zurückführen zu müssen, daß hier auf dem atmosphärelosen Monde ganz gewaltige Meteore Löcher in die Kruste schlugen, wodurch erst eine Reaktion des noch feuerflüssigen Innern durch heftige vulkanische Ausbrüche ausgelöst wurde. Dabei hat man nicht nötig, die großen Meteore, die solche riesigen Kraterlöcher in den Mond schlugen, wie unsere irdischen Meteore aus den fernsten Gebieten des Weltraumes kommen zu lassen. Vielmehr glauben manche als wahrscheinlich annehmen zu dürfen, daß diese Eindringlinge Überreste des Mondringes waren, der einst mit dem Mond ähnlich dem Saturnring um die Erde kreiste und dessen Bestandteile schließlich durch die überwiegende Anziehung des Zentralkörpers in den Mond fielen, wobei sie, da sie schon zu festen Körpern erstarrt waren, ganz respektable Löcher in ihn schlugen, so daß er heute noch wie von Pockennarben bedeckt aussieht.

Daß hauptsächlich vulkanische Kräfte und selten fließendes Wasser, welch letzteres bei uns auf der Erde hauptsächlich die Landoberfläche heraus modelliert, auf dem Monde in Tätigkeit waren, beweist auch die äußerste Seltenheit von eigentlichen Kettengebirgen, wie wir sie von der Erde her kennen. Das bekannteste derselben ist die als Apennin bezeichnete Kette in der Mitte der Nordhälfte. Dieser Gebirgszug hat eine Längsausdehnung von rund 500 km und enthält nach Mädler wohl an 3000 einzelne Berggipfel, deren höchster etwa 5600 m mißt, also die Mont-Blanchöhe wesentlich übertrifft. Seine Abhänge aber sind, wie auch diejenigen der Vulkankrater, viel steiler als entsprechende Gebilde auf unserer Erde, indem sie nicht durch die Wirkungen des fließenden Wassers abgetragen wurden, sondern dadurch entstanden, daß das infolge

der ungeheuren Temperaturunterschiede mürbe gewordene Gestein immer mehr abbröckelte und in die Tiefe stürzte, wo es liegen blieb. Daneben wird auch die gegenüber unserer Erde sechsmal geringere Schwerkraft zusammen mit dem geringeren Gewicht des Mondgesteins die Ursache der viel schrofferen Abstürze der Mondberge sein. Das an sich leichtere Gestein wird natürlich weniger stark zum Mittelpunkte des Weltkörpers hingezogen und steigt deshalb viel schroffer an.

Aus alledem geht mit Sicherheit hervor, daß der Mond an seiner Oberfläche infolge der durch die großen Temperaturdifferenzen hervorgerufenen Lockerung im inneren Gefüge der zutage liegenden Gesteine hoch mit Schutt und Staub bedeckt sein muß, was ein Gehen auf ihm für uns Menschen fast ganz unmöglich machen würde.

Aber nicht nur haben die Mondberge viel steilere Hänge als irdische, sie sind verhältnismäßig auch viel höher als die Berge der Erde. Während die Wälle der großen Ringgebirge sich durchschnittlich etwa 4000 m über ihre Umgebung erheben, ist der höchste Mondberg fast genau so hoch wie die größte irdische Erhebung, nämlich etwa 8850 m. Für die Erde bedeutet diese Größe $^1/_{720}$, für den Mond dagegen $^1/_{200}$ des Halbmessers, also ein bedeutender Unterschied.

Die große Unebenheit der Mondoberfläche rührt einzig daher, daß auf dem Monde kein Wasser vorhanden ist, um die Erhöhungen abzutragen. Jedenfalls müssen die Vulkane auf dem Monde einst viel Gase und auch Wasserdampf ausgehaucht haben, da alle feuerflüssigen Massen große Mengen davon absorbiert enthalten und sie bei nachlassendem Drucke und zunehmender Erkaltung von sich geben. So kann beispielsweise 1 Liter geschmolzenes Silber 22 Liter Sauerstoff schon bei gewöhnlichem Atmosphärendruck, unter höherem Drucke natürlich entsprechend mehr, in sich aufnehmen, und diese entweichen wieder beim Abkühlen.

Aber alle die Gase wie auch der Wasserdampf, den die Mondvulkane von sich gaben, sind teils durch Entweichen gegen die Erde, teils auch durch die Absorption der Gesteine so gut wie gänzlich verschwunden. Jedenfalls kann die Dichtigkeit der noch existierenden Reste der Atmosphäre auf dem Mond nicht größer als etwa $^1/_{10000}$ der Erdatmosphäre sein.

Auf die einstige Anwesenheit einer dichteren Atmosphäre deuten auch die ausnahmslos um Krater beziehungsweise Ringgebirge, besonders bei Vollmond, sichtbar werdenden Strahlensysteme, die aus einer außerordentlich leichten, stark das Licht reflektierenden Staubmasse, wohl

zweifellos Vulkanasche, bestehen. Um diese vulkanische Asche in Entfernungen von gegen 1000 km von ihren Ausbruchstellen zu tragen, genügte nicht allein der Gasdruck der mit ihnen ausgeschleuderten heißen Dämpfe, sondern es waren auch Winde nötig, welche diese Asche so weit herum ausstreuten.

Daß wahrscheinlich auch noch Spuren von Wasserdampf in der ganz minimen Mondatmosphäre vorhanden sind, beweisen vorübergehende von manchen Forschern beobachtete Trübungen gewisser engerer Gebiete der Mondoberfläche kurz nach Sonnenaufgang, welche am ehesten durch das Auftreten von leichten Nebelschleiern zu erklären sind. Ja der berühmte Astronom an der nordamerikanischen Harvarduniversität in Cambridge, William E. Pickering, hat als Resultat sehr eingehender Mondstudien, die er mit vorzüglichen Teleskopen in der ausnahmsweise klaren Luft von Mandeville auf Jamaika und von Arequipa in Peru, an letzterem Orte in 2400 m Höhe, vornahm, nicht nur zeitweise Trübungen durch verdunstenden Schnee, wie er glaubt, gesehen, sondern er will auch mancherorts sogar auf Spuren bescheidensten organischen Lebens gestoßen sein. Zu dieser Annahme gelangte er vorzugsweise durch den Farbenwechsel von „veränderlichen" Flecken, die nahe dem Mittelpunkte der Mondscheibe stehen, bei Vollmond am dunkelsten sind, bei Sonnenauf- und -untergang dagegen verblassen, also nicht Schatten sein können. „Folglich müssen", so schließt er daraus, „diese Flecken durch einen wirklichen Wechsel in der Natur der reflektierenden Oberfläche hervorgebracht werden. — Organisches, einer Vegetation ähnliches, wenn auch mit derselben nicht notwendigerweise identisches Leben scheint die einzige einfache Erklärung zu bieten, und wenn wir

Fig. 24. Typische Mondlandschaft mit Kratern, nach Nasmyt und Carpenter.

Digitized by Google

berücksichtigen, daß der lange Mondtag in kleinem Maßstabe dem Aufblühen und Absterben in unserem Erdenjahre entspricht, so erscheint die Theorie von einem solchen Leben als eine passende Erklärung; ein Keimen, Blühen und Absterben, gerade wie auf der Erde. — Eine andere Erklärung ist schwer denkbar."

Zur Erklärung dieser Annahme, welche bei der von uns vertretenen Anschauung, schon wegen des kolossalen Temperaturwechsels unmöglich richtig sein kann, ist zu bemerken, daß Pickering irrtümlicherweise als Temperatur der von der Sonne vollbeschienenen Mondoberfläche etwa 45° C. annimmt und von der durchschnittlichen Bodentemperatur annimmt, daß sie den Nullpunkt nicht übersteigt. Diese Werte sind nun entschieden als viel zu niedrig zu betrachten, da der Mond von der ganzen ihm gespendeten Wärmemenge zwar 88 Prozent in sich aufnimmt, sie aber auch sehr rasch wieder ausstrahlen läßt.

Ist auch die Möglichkeit des Bestehens von organischem Leben in unserem Sinne auf dem Monde fast vollkommen ausgeschlossen, so ist es anderseits wahrscheinlich, daß noch bescheidene Spuren vulkanischer Tätigkeit auf ihm vorhanden sind. Jedenfalls haben absolut zuverlässige Mondforscher in einzelnen wenigen Fällen ein Auftreten neuer Krater an Stellen, wo vorher bestimmt keine solchen waren, ziemlich einwandfrei feststellen können. So hat Hermann Klein im Jahre 1877 einen neuen Mondkrater in der Nähe des in der Mitte der Mondscheibe gelegenen Kraters Hyginus entdeckt und A. S. Williams und W. E. Pickering konstatierten eine beziehungsweise zwei solcher Neubildungen am Ringgebirge Plato an der Nordspitze der Alpen. Letzterer sah am 31. Juli 1904 am Boden jenes Ringgebirges zuerst eine verwaschene Partie, als ob eine weiße Wolke über ihr lagere. Nach einigen Tagen verschwand die Trübung und man sah ein dunkles Kraterchen von 15 km Durchmesser, das vorher nicht bemerkt worden war.

Ziemlich sicher festgestellt ist das Auftreten neuer Rillen an Stellen des Mondes, die vorher sicher keine besaßen. Es sind dies klaffende Risse an der Oberfläche von 1—2 km Breite und oft hundert und mehr km Länge, die eben eine Folge der ganz gewaltigen, vermutlich also etwa 450° C. erreichenden Temperaturunterschiede sind, wodurch eine Zerklüftung der Oberfläche eintritt. Allerdings sind diese klaffenden Sprünge nur ganz ausnahmsweise so groß, daß wir sie mit unseren heutigen optischen Hilfsmitteln zu erkennen vermögen.

Aus seinen Beobachtungen über das vom Monde reflektierte Licht hat Langley geschlossen, daß die Gesteinsarten des Mondes einen gelb-

lichgrauen Ton, demjenigen gewisser Sandsteine ähnlich, besitzen. Nach den Untersuchungen von Landerer über den Polarisationswinkel der Mondgesteine sollen diese mit vulkanischen irdischen Gesteinsarten wie Obsidian und besonders Vitrophyr große Ähnlichkeit haben.

Alles in allem ist der Mond eine völlig ausgestorbene, tote Welt, welche durch die große Kälte des sie umgebenden Weltraumes immer mehr oberflächlich zerklüftet wird und uns damit zeigt, welches Los dereinst in ungezählten Millionen Jahren auch unserer Erde bevorsteht, bevor der Mond auf sie fällt und sie dadurch oder durch ihre Vereinigung mit der Sonne zu neuem Leben erwacht.

Das aschfarbene Licht, das uns der von der Sonne nicht beleuchtete Teil des Mondes zusendet, wenn seine Phase noch sehr klein ist, ist nichts anderes als der auf unsern Nachbarn reflektierte Erdschein, der entschieden schwächer erscheint, wenn ihm unsere großen Meeresflächen gegenüberstehen, stärker dagegen auftritt, wenn helle Landgebiete, wie die afrikanischen und asiatischen Wüsten seiner Nachtseite zugewendet sind. Besonders stark erscheint aber das aschfarbene Licht des Mondes in den herbstlichen Morgenstunden bei Neumond, wenn die sibirischen Schneeflächen seiner Nachtseite zugekehrt sind. In den Abendstunden des Frühlings dagegen ist dieser Widerschein neben der schmalen Sichel seltener deutlich zu sehen, da dann hauptsächlich dunkle Erdstriche dem Monde gegenüberstehen.

Der Mond strahlt etwa den sechsten Teil der Lichtmenge, die er von der Sonne erhält, zurück. Nach Zöllner würden erst 618000 Vollmonde die gleiche Helligkeit wie die Sonne auf der Erde verbreiten.

Durch die Anziehung von Sonne und Mond entstehen nicht nur die bereits erwähnte Präzession, d. h. das stetige von Osten nach Westen gerichtete Zurückschreiten des Frühlingspunktes auf der Ekliptik, das einen ganzen Umlauf in nahezu 26000 Jahren vollendet, und die Nutation oder das Schwanken der Erdachse, sondern hauptsächlich auch Ebbe und Flut. Diese als Gezeiten bezeichneten Bewegungen sind bekanntlich Anziehungswellen der Flüssigkeitshülle der Erde, die der Meeresboden teilweise mitmachen soll. Diese verzögern notwendigerweise nach und nach die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde durch eine Art Bremsen.

Es unterliegt nun keinem Zweifel, daß zu jener Zeit, als die Erde noch eine durch und durch flüssige Masse war, die Flutbildung sich auf noch tiefere Schichten als gegenwärtig erstreckte und man kann sich wohl vorstellen, daß bei der alsdann eintretenden Erstarrung die An-

ziehung des Mondes nicht ohne Einfluß auf die Formgestaltung der Erde gewesen ist. Ja, neuere Untersuchungen, wie diejenigen von Lord Kelvin (einst Sir William Thompson) haben sogar die Wahrscheinlichkeit nahegelegt, daß die allgemein als fest angenommene Erdrinde doch noch nicht starr genug ist, um nicht den Ebbe und Flut erzeugenden Einflüssen von Mond und Sonne auf das elastische Innere der Erde in gewissem Grade nachzugeben. Daß umgekehrt beim Monde eine, wie oben angedeutet, dauernde Umbildung stattgefunden hat, scheint sicher erwiesen zu sein und man bringt damit die Übereinstimmung der Umdrehungszeit des Mondes mit seiner Umlaufszeit um die Erde in Zusammenhang.

Neben der Flutwelle der Hydrosphäre scheint auch eine noch viel mächtigere solche aus den leichtesten Bestandteilen der Atmosphäre die Erde zu umkreisen und das zu erzeugen, was wir in mondlosen dunkeln Nächten als matten pyramidenförmigen Schein am Abend nach Sonnenuntergang am Westhimmel oder morgens vor Sonnenaufgang am Osthimmel, mit der Basis gegen die verborgen bleibende Sonne zu, in der Richtung des Tierkreises sehen und deshalb als Tierkreislicht oder Zodiakallicht bezeichnen. Die spektroskopische Untersuchung dieses besonders in südlichen Breiten oft sehr deutlich nachweisbaren geheimnisvollen Scheines deutet auf Sonnenlicht, das vom feinsten Staube reflektiert wird, das sich, wie es scheint, noch in solche Höhen über die Erde zu erheben vermag.

Dieser pyramidenförmige Schein soll nach H. Gruson, dem Gründer der weltbekannten Grusonwerke, die Könige der ältesten ägyptischen Dynastien zu Ende des vierten vorchristlichen Jahrtausends veranlaßt haben zu Ehren des Sonnengottes Ra, den sie als ihren lebenspendenden Vater verehrten, die Pyramiden im Westen ihrer prunkvollen Residenzstadt Memphis zu erbauen. In dem in Stein nachgebildeten glänzenden Dreiecklichte in Gestalt der zu gewaltiger Höhe sich auftürmenden Pyramiden wollten sie, die Sonnensöhne, dem Aufgange der väterlichen Sonne entgegenschlummern, in der Hoffnung, daß wie jene, trotz ihrem Untergange im Westen, alle Morgen in jugendlicher Frische sich wieder über den Osthimmel erhebt, der mächtige Sonnengott ihnen im Totenreiche, wo die Sonne nachts den Abgeschiedenen leuchten sollte, ein täglich neues, ewiges Leben schenken werde. Und so bauten sie auf dem Totenfelde von Memphis, vor dem die Har em chu, d. h. die kindliche Sonne am Horizont, nämlich die jugendliche aufgehende Sonne genannte Sphinx mit genau nach Osten gewandtem Antlitz Wache hält, ihre die

Dreieckform des Tierkreislichtes aufweisenden Pyramiden als unvergängliche Totenschreine zur Aufbewahrung ihrer einbalsamierten Körper, an deren Fortexistenz auch das Leben ihres Ka, ihrer Seele, gebunden war. Die größte der Pyramiden aber, die Cheopspyramide, altägyptisch Chufu chut d. h. Glanzsitz des Chufu genannt, welche 2½ Millionen cbm Inhalt aufweist, und an welcher 100000 Menschen 40 Jahre lang mit den bescheidenen ihnen damals zur Verfügung stehenden technischen Hilfsmitteln sich abgemüht haben sollen, soll nach Max v. Eyth nie eine Königsmumie beherbergt haben, auch nicht als Grabdenkmal gebaut worden sein, sondern ein für uns noch verborgenes astronomisches Heiligtum im Dienste der Sonnenverehrung gewesen sein, in welches die weisen ägyptischen Priester, die in allen Wissenschaften die Lehrer der Griechen und durch sie auch die unsrigen waren, gewisse vor der profanen Menge geheim gehaltene religiöse Lehren in symbolischen Zahlenverhältnissen für alle Zeiten niedergelegt haben sollen.

V.

Kometen und Meteore.

Außer der großen Schar von legitimen Kindern bewegen sich durch die interplanetarischen Räume noch sehr zahlreiche Adoptivkinder und Gäste, welche gleicherweise um die Sonne laufen und teilweise als zu ihrer Familie gehörend betrachtet werden müssen. Diese letzteren kommen aus den fernsten, für uns geradezu unendlich weiten Himmelsräumen, um, in den Bannkreis der Sonnenanziehung geratend, von ihr aus ihrer ursprünglichen Bewegungsrichtung abgelenkt zu werden und in veränderter neuer Bahn wieder in die Unendlichkeit zurückzukehren, bis sie, ganz langsam ihre Bahn weiterziehend, nach Äonen aufs neue einer Sonne sich nähern und in parabolischer, oder bei etwas größerer Geschwindigkeit ausnahmsweise in sich auch hyperbolischer Bahn, um diese herumschwenkend in eine neue Richtung gezwungen werden. Dieses Spiel wiederholt sich wohl unzählige Male, bis schließlich einmal durch die Anziehung eines Planeten die Bahn eine geschlossene wird, d. h. sich in eine Ellipse verwandelt. Dadurch wird der aus unendlicher Ferne kommende und nur einen kurzen Besuch bei der betreffenden Sonne beabsichtigende Gast gezwungen, ein Adoptivkind derselben zu werden und als Mitglied ihrer Familie so lange um sie zu kreisen, bis durch neue Störung durch die Anziehung eines ihm zufällig zu nahe kommenden Planeten seine Bahn wieder zur Parabel wird, wodurch er zum betreffenden Sonnensystem hinausgeworfen wird, oder, wenn er bei ihm bleibt, wenigstens in anderer Bahn weiterläuft. So, in wechselvollem Geschick bald hierhin, bald dorthin geschlagen, erfüllen diese Gäste zuletzt ihr Schicksal und zahlen wie alles Geschaffene der Vergänglichkeit ihren Tribut, indem sie in feuriger Lohe untergehend ein neues Leben in der Sonne, mit der sie schließlich vereinigt werden, beginnen. So reiht sich auch hier stets wieder der Anfang an das Ende.

Diese Irrgäste haben von jeher, wenn sie sich in ihrer eigentümlichen gestreckten Gestalt am nächtlichen Himmel zeigten, die Phantasie des abergläubigen Volkes aufs tiefste beschäftigt und in ihm jeweilen die abenteuerlichsten Gedanken erweckt. Vielfach sah man in ihnen nur Wolkengebilde oder gar nur optische Täuschungen. Öfter noch galten sie als Seelen mächtiger Verstorbener, die auf dem Wege zum Firmamente begriffen waren, von wo herab sie nicht als Kometen, sondern als ewige Sterne leuchten sollten. Wie alle Geister mächtiger Verstorbener fürchtete man sie, weil sie Unglück über die Menschen brachten. Und auch in einer späteren, in ihren Anschauungen gereifteren Zeit fürchtete man die Kometen als Unheil bringende Gebilde, die man wegen ihrer äußeren Erscheinung geradezu als „Zuchtruten“ Gottes bezeichnete, von diesem zur Strafe für die menschlichen Verbrechen und Sünden gesandt und über die Menschen die größten denkbaren Übel, vor allem Mißwachs, Pestilenzen und Kriege mit ihren schrecklichen Greueln verhängend.

Zweitausend Jahre lang sind auch die aufgeklärtesten Gelehrten nicht über die naive Ansicht des großen Weltweisen des Altertums, Aristoteles, hinaus gelangt, der in ihnen nur von der Erde aufsteigende Dünste sah, die in der obersten Luftregion vom raschen Umschwunge ergriffen, zusammengeballt, verdichtet und zuletzt vom Feuer der Sonne und der übrigen Gestirne in Brand versetzt als Kometen den Menschen sichtbar werden sollten. Nach dieser Anschauung konnten sich die Kometen natürlich nur in nächster Nähe der Erde aufhalten, selbst nicht über die Mondentfernung hinausgehen. Sie hatten also mit den Wolken gemeinsamen Ursprung, wenn sie auch weiter von der Erde abstanden, und gehörten durchaus nicht in die Gesellschaft der Weltkörper.

Anders urteilte über sie der im Jahre 2 unserer Zeitrechnung in Cordoba in Spanien als Sohn eines Rhetors geborene Lucius Annäus Seneca, der als Erzieher und Leiter des jugendlichen Kaisers Nero wegen angeblicher Teilnahme an der Verschwörung des Piso im Jahre 65 durch Selbstmord endete. Der große Römer, der der stoischen Schule angehörte, ist seiner Zeit um 17 Jahrhunderte vorausgeeilt und sagt in einer seiner zahlreichen Schriften: „Ich kann mich nicht überzeugen, daß der Komet ein vor kurzem ausgebrochenes Feuer sei; er ist gewiß ein bleibendes Werk der Natur. Was sich in der Luft erzeugt, hat keine Dauer; denn sein Element ändert sich unaufhörlich. Wie könnte beständig sein, was aus und in der Luft gebildet

ist? Feurige Meteore, die wir in der Luft sehen, ziehen geradlinig fort. Die Kometen, mindestens die beiden zu unserer Zeit erschienenen — wie die früheren sich verhielten, weiß ich nicht — folgen der allgemeinen, nur den Gestirnen eigenen Kreisbewegung. Was dem Zufall seine Entstehung verdankt: die Meteore, der Blitz, die Sternschnuppen, vergehen so schnell wie sie kommen. Wäre der Komet durch irgend eine vorübergehende Ursache ein Feuer, müßte sich dann nicht seine Größe und Gestalt in jedem Augenblicke ändern? Er nimmt seinen Platz unter den übrigen Gestirnen ein, er hört nicht auf zu sein, sondern er vollführt seinen Lauf; verschwindet er uns, so ist er nicht erloschen, er hat sich nur weiter entfernt."

„Man wird mir vielleicht einwenden", so fährt Seneca fort, „daß wenn die Kometen zu den Wandelsternen gehörten, sie sich innerhalb des Zodiakus halten müßten. Allein wer hat dem Tierkreise die Grenzen gesetzt und wer will die Werke Gottes einschränken? Die Planeten haben auch nicht alle denselben Lauf; warum soll es nicht noch andere Wandelsterne geben, die einen noch ganz verschiedenen haben? Sollen die großen Räume außerhalb des Tierkreises ohne alles Leben und ohne Bewegung sein. Der Größe des Universums ist es weit angemessener, daß sich überall im Raume Bahnen befinden, als daß unter so vielen, welche den nächtlichen Himmel schmücken, fünf Sternen (nämlich Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn) das alleinige Vorrecht der Bewegung innerhalb eng beschränkter Grenzen gewährt sei.

Aber, fragt man mich weiter, warum kann man denn den Lauf der Kometen nicht wie den der Planeten bestimmen? Doch wie viele Wahrheiten sind uns denn erschlossen? Niemand wird das Vorhandensein seiner eigenen Seele leugnen und dennoch wird niemand behaupten, das Wesen der Seele erklären oder den Ort des Körpers angeben zu können, wo sie sich befindet. Wenn nun so der Mensch sich selbst nicht genau kennt, ist es zu verwundern, wenn er von den Dingen außer ihm noch weniger weiß?

Wundern wir uns also nicht länger, daß die Gesetze der Bewegung der Kometen noch nicht erforscht sind. Sie erscheinen so selten, auf ihre Rückkehr kann man so lange Zeit warten, daß es für uns, die wir uns kaum rühmen können, die Ursache der Finsternisse erforscht zu haben, unmöglich ist, eine genaue Kenntnis der Kometen zu besitzen, die aus so unermeßlichen Fernen zu uns herniedersteigen. Aber der Tag wird anbrechen, wo eine beharrliche Forschung dahin gelangt sein wird, die Wahrheiten zu entschleiern, die uns jetzt noch verborgen sind.

Das Leben eines Menschen, und wenn es ganz und gar der Beschauung des Himmels gewidmet wäre, ist viel zu kurz für diese tiefen Untersuchungen. Wie viel mehr noch muß es unzureichend sein bei uns, die wir eine so sehr ungleiche Lebensdauer und so mancherlei verschiedene Beschäftigungen haben. Die Folge der Jahrhunderte wird alles offenbaren und eine Zeit wird erscheinen, wo unsere Nachkommen sich wundern werden, wie so klare, so einfache, so natürliche Gesetze uns verborgen bleiben konnten!"

Trotz dieser vereinzelten Äußerung eines weisen Philosophen ist bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts, ja beim ungebildeten Volke bis zur Gegenwart der Glaube an die unglückbringende Wirkung der Schweif- oder Haarsterne, die aus Dünsten herwärts vom Monde ihren Ursprung nehmen sollten, geltend gewesen. Nur hat man sie in neuerer Zeit nicht immer für Unglücksboten gehalten. In den Jahren 1811 und 1882 sollen sie uns auch einen besonders guten Wein, den man als Kometenwein bezeichnete, bescheert haben. So half auch der große Komet von 1811 den Goldgräbern in Mexiko, nach ihrer Überzeugung, beim Auffinden einer berühmten Goldmine, und der von 1819 brachte eine gediegene Silberader ebendort ans Licht.

Klärende und beruhigende Ansichten über die eigentliche Natur der Kometen konnten erst gewonnen werden, nachdem die Beobachtungskunst genügende Fortschritte gemacht hatte, um den scheinbaren Lauf dieser Gestirne durch die Himmelsräume festzustellen, und nachdem sich die theorische Wissenschaft so weit vervollkommnet hatte, um aus diesem Schein das Wahre ableiten zu können. So war Borelli der erste, welcher beim Kometen vom Jahre 1664 die Ansicht aussprach, derselbe bewege sich vermutlich in einer parabolischen Bahn um die Sonne. Schärfer bestimmte diese der gelehrte Danziger Ratsherr Hevel in seiner Kometenbeschreibung. Auch Dörfel machte beim großen Kometen des Jahres 1680 eine parabolische Bahn wahrscheinlich. Bald darauf gab Newton genauere Methoden zur Berechnung der Kometenbahnen an, worauf im Jahre 1705 sein Landsmann Halley die erste Kometenbahn sicher bestimmte. Nach ihm haben Olbers im Jahre 1797, später Bessel, Gauß und v. Oppolzer das Problem ihrer Bahnbestimmung mit der nötigen Schärfe gelöst.

Die Zahl der Kometen ist jedenfalls eine außerordentlich große, und Kepler hat mit seinem Ausspuch, sie seien „so zahllos wie die Fische im Meer" gewiß ein annähernd richtiges Bild gegeben. Nur sind sie meist so klein und machen auch in

ihrer Sonnennähe nur so unbedeutende Erscheinungen, daß man sie in der Regel nicht sieht. Je mehr aber unsere optischen Hilfsmittel geschärft werden, um so häufiger finden wir sie. So sind vom Jahre 612 vor unserer Zeitrechnung bis zur Geburt Christi hauptsächlich von chinesischen Chronisten, deren 53 verzeichnet worden und

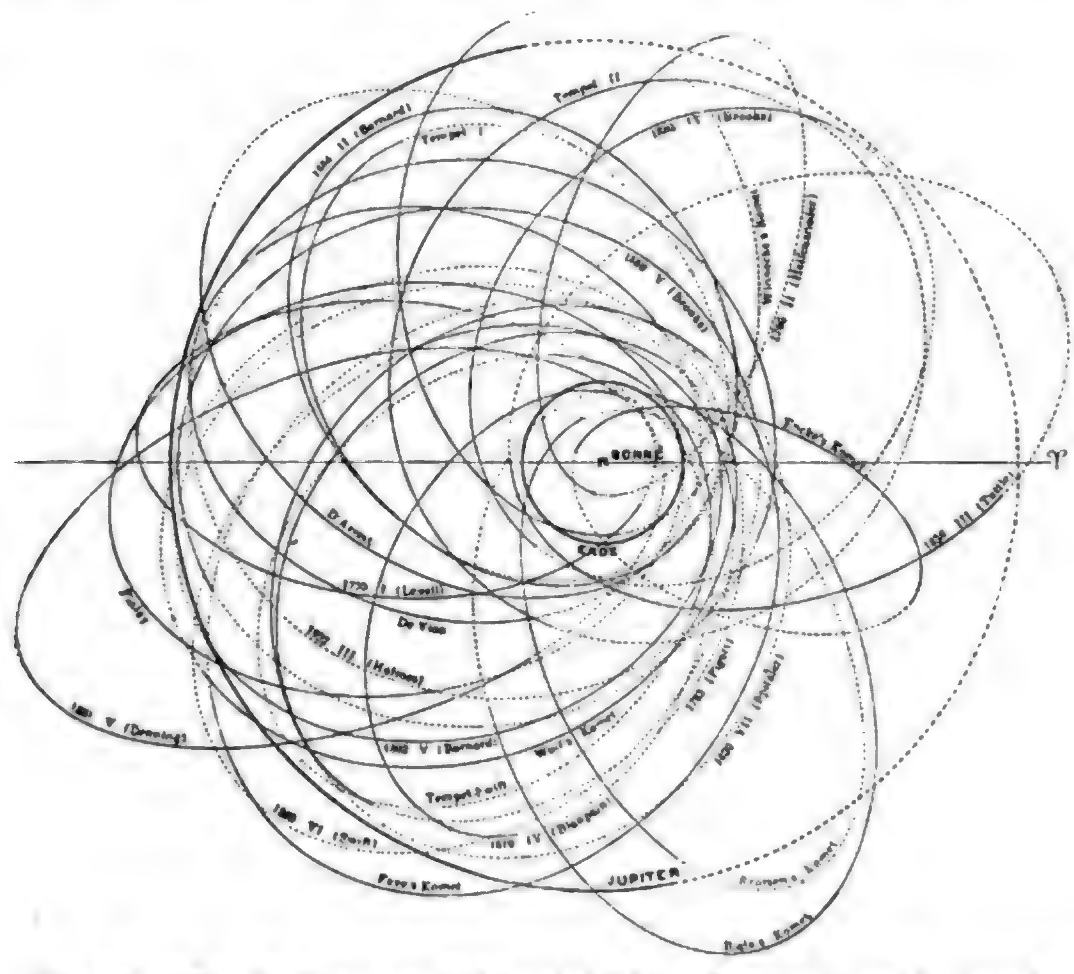


Fig. 25. Die Bahnen der 23 periodischen Kometen, welche durch die Anziehung des mächtigen Planeten Jupiter in geschlossene elliptische Bahnen gezwungen und so aus vorübergehenden Besuchern zu ständigen Mitgliedern unseres Sonnensystems gemacht wurden. Die Ebene, über und unter welcher die einzelnen Bahnen verlaufen, ist die Ekliptik.

von da an bis zum Ende des 18. Jahrhunderts etwa 480, die mit bloßem Auge sichtbar waren. Dagegen wurden im letzten Jahrhundert allein deren 309 beobachtet, von denen allerdings nur etwa 40 dem unbewaffneten Auge erkennbar waren; die übrigen blieben alle nur teleskopisch. Hätte man nun seit Christi Geburt mit demselben Eifer und mit gleich guten Teleskopen nach ihnen gesucht, so würden sicher deren etwa 5000 bekannt geworden sein.

Dabei ist zu bedenken, daß die Kometen erst dann für uns sichtbar werden, wenn sie der Erde und Sonne nahe sind. Nur ganz vereinzelt sind Kometen beobachtet worden, deren Periheldistanz der doppelten Entfernung Erde-Sonne gleichkam, und doch müssen wir annehmen, daß die meisten in weiteren Abständen um die Sonne herumfliegen, sodaß wir auf ganz riesige Zahlen der tatsächlich vorhandenen Kometen stoßen.

Jedenfalls verhalten sich die Kometen ganz anders wie die regulären Mitglieder des Sonnensystems. Die großen Exzentrizitäten ihrer Bahnen und der Umstand, daß diese bald recht- bald rückläufig die Ekliptik unter allen möglichen Winkeln schneiden, deuten auf ihren fremden Ursprung außerhalb des Sonnensystems. Unter 300 gut beobachteten Bahnen waren etwa 220 parabolisch, 70 elliptisch und nur 6 hyperbolisch. Von den 70 in elliptischen Bahnen sich um die Sonne bewegenden Kometen sind 4 durch Merkur, 7 durch Venus, 10 durch die Erde, 4 durch Mars, 23 durch Jupiter, 9 durch Saturn, und 5 durch Neptun eingefangen und unserem Sonnensystem einverleibt worden. Dabei können die Umlaufszeiten zwischen $3^1/_4$ und über 100000 Jahren schwanken; in letzterem Falle ist aber die Bahn für uns vollständig einer Parabel gleich. Auch können sich die Kometen 100, ja 1000mal weiter als die Erde von der Sonne entfernen und trotzdem bleiben sie immer noch im Banne ihrer Anziehung. Um in die Mitte zwischen der Sonne und dem nächsten Fixsterne zu gelangen, müßte ein Komet, der sich in einer geschlossenen Bahn um die Sonne bewegt, eine Umlaufzeit von 100 Millionen Jahren haben. Es besteht also keinerlei Möglichkeit, daß unser Sonnensystem irgendwie durch andere benachbarte Sonnensysteme Störungen im Umlaufe seiner Mitglieder erfahre.

In der Regel besteht ein Komet aus einem bei Annäherung an die Sonne aufleuchtenden Kern, der von einer ausgedehnten Dunsthülle umgeben ist. Bisweilen ist der Kern aber so schwach ausgebildet, daß er nicht sichtbar wird und nur die Dunsthülle erscheint. Der Kern des großen Kometen von 1811 hatte einen Durchmesser von 4000 km, derjenige von 1858 nur 1000 km und der von 1798 gar nur 300 km, und doch waren diese alle größere Kometen; denn nur diese entwickeln mit zunehmender Annäherung an die Sonne einen Schweif, der allmählich wächst, bis die Sonnennähe erreicht ist. Dann nimmt er langsamer als er zugenommen hat an Größe ab, bis er zuletzt ganz verschwindet.

Bei weitem die Mehrzahl aller Kometen, welche im Fern-

rohre zuerst gesehen werden, erscheinen als rundliche Nebelmassen mit einer nach der Mitte zunehmenden Lichtverdichtung, welche eben der Kern ist. Die ihnen Nebelgestalt verleihende Dunsthülle kommt durch Verdampfungsprozesse zustande, welche in dem der Sonne zugekehrten Teile des Kometen vor sich gehen, während die auf der entgegengesetzten Seite befindlichen Teile nicht erwärmt werden können. Durch die nachträgliche Verteilung der dort beständig gebildeten Dämpfe um den ganzen Kern erscheinen dann die Kometen in größerer Entfernung von der Sonne, besonders wenn sie klein sind, vollständig in Dampfkugeln verwandelt, die keine wesentlichen Unterschiede mehr auf der der Sonne zu- oder abgewandten Seite zeigen können, wie dies in der Tat bei den teleskopischen Kometen der Fall ist. So haben fast alle letzteren nur ein gasförmiges Linienspektrum ergeben, und zwar hat die Lage und Ausbildung der Linien eine vollständige Übereinstimmung mit denjenigen der Kohlenwasserstoffe ergeben, die in großer Menge auf ihnen vorhanden sein müssen und bei zunehmender Annäherung an die Sonne zuerst in glühende Dämpfe umgewandelt werden.

Nimmt die Erwärmung bei noch gesteigerter Annäherung an die Sonne zu, so finden in dem scheinbaren Nebelball weitere, noch viel energischere Gasausströmungen statt.

Bei denjenigen Kometen, die einen Schweif bilden, brechen immer zahlreichere leuchtende Massen, auch wieder zunächst auf der der Sonne zugewandten Seite, hervor, um in einer gewissen Entfernung vom Kern umzubiegen und fontänenartig in parabolischem Bogen rückwärts vom Kern auf der der Sonne abgekehrten Seite als Schweif auszustrahlen. Die auf solche Weise vor den Kometen entstehende leuchtende Hülle nennt man seine Haube.

Die luftige Ausströmung glühender Gase, die nach dem Ausweise des Spektroskops allerdings vorzugsweise aus Kohlenwasserstoffen und den damit verwandten Kohlenoxyd- und Cyangasen bestehen, denen sich verschiedene Alkalimetalle, so in manchen Kometen besonders Natrium, dann auch Eisen hinzugesellen, kann unter Umständen so gesteigert werden, daß stoßweise statt nur einer 2 bis 3 Hauben übereinander sich bilden, die dann ihre besonderen Schweife nach rückwärts aussenden.

Die zunehmende Erwärmung durch die Sonne ist bei der Bildung der Schweife wohl die auslösende, aber nicht die treibende Kraft. Diese stammt hauptsächlich von der Strahlungsenergie der Sonne, die teils auf elektrischem Wege übermittelt, teils aber auch durch das Licht bewirkt wird. Nach Svante Arrhenius werden nämlich von der Sonne

nach allen Seiten negativ geladene Partikelchen, sogenannte Elektronen, ausgestrahlt. Diese treffen den Kometen und bewirken in ihm Entladungen, welche die Gase zum Glühen bringen. Die Gase waren vorher vom Kern absorbiert oder in ihm wenigstens zu festem Zustand erstarrt, bis der Komet der Sonne nahe genug kam, und sie sich wieder frei machten. In der kurzen Zeit der Sonnennähe verschwinden die Gase nicht gänzlich. Vielleicht sammeln auch die Kometen schwere Kohlenwasserstoffe bei ihrem Zuge durch den Weltenraum auf.

Auch Wilhelm Meyer nimmt bei der Schweifbildung abstoßende elektrische Kräfte an. Die mächtigen Ausströmungen, die vor der Schweifbildung aus dem Kerne hervorbrechen, müssen ohne Zweifel in der nämlichen Weise, wie man es bei der Dampfelektrisiermaschine wahrnimmt, die beiden Elektrizitäten von einander scheiden. Jeder Dampfstrahl, der sich an seiner Ausströmungsöffnung reibt, selbst das Wasser jedes Wassersturzes, erzeugt Elektrizität. Ist nun das ausströmende Gas z. B. negativ elektrisch geladen, während im Kern die positive Elektrizität zurückbleibt, so müßte, um die Abstoßung von der Sonne hinweg zu erklären, der Sonne eine Ausstrahlung negativer Elektrizität zugeschrieben werden, was auch aus anderen Erscheinungen offenbar der Fall zu sein scheint.

Daß elektrische Vorgänge beim Aufleuchten der Kometen in der Sonnennähe eine Hauptrolle spielen, hat schon Vogel bewiesen, der einen kleinen Meteorstein in einer luftleeren Röhre erhitzte und währenddessen einen elektrischen Strom durch ihn hindurchsandte, wobei ein Leuchten in der Röhre auftrat, das spektroskopisch mit dem Lichte eines Kometenkernes vollkommen übereinstimmte. Aber ganz abgesehen von solchen elektrischen Vorgängen wirkt schon die Strahlungsenergie des Lichtes eine nicht unwichtige Rolle bei der Abstoßung der vom Kometen ausstrahlenden Dämpfe von leuchtenden Gasen. Hat man doch ausgerechnet, daß der Gesamtdruck des Lichtes auf die der Sonne jeweilen zugekehrte Erdhälfte etwa 7½ Millionen kg ausmacht. Gegenüber der ungeheuren Masse der Erde von 119200 Trillionen (mit 18 Nullen) Zentnern kommt diese ja scheinbar wenig zur Geltung, vermag aber immerhin der Anziehung entgegenzuwirken, welche die Sonne an der Erde ausübt, und sie so bis zu einem gewissen Teile vor dem ihr drohenden Schicksale zu bewahren, endlich einmal in die Sonne, die ihr das Leben gab, zu stürzen.

Übt nun das Licht auf die ferne Erde schon eine solche nicht zu unterschätzende Wirkung aus, so muß diese auf die ihr meist sehr viel

näher kommenden Kometen eine um so viel größere sein. Jedenfalls reicht sie aber durchaus nicht aus, um die großen Geschwindigkeiten zu erklären, mit welchen die die Schweife bildende Materie vom Kerne hinweggetrieben wird. Diese sind nun je nach der materiellen Zusammensetzung der Kometen ganz verschieden, indem leichtere Substanzen von ihr natürlich kräftiger abgestoßen werden als schwerere. Am größten ist die durch sie erteilte Geschwindigkeit bei einem ganz leichten Gase, wie Wasserstoff, der ja sicher in den Kometenkernen in relativ großen Mengen

Fig. 26. Der Donatische Komet mit drei Hauben über dem kleinen Kerne, nach einer Zeichnung von Bond in Cambridge (N.-A.) vom 29. Sept. 1858.

vorhanden ist, mittelgroß dagegen bei den fast elfmal schwereren Kohlenwasserstoffen und am kleinsten bei den Metalldämpfen. Deshalb sind die aus ganz leichten Gasen bestehenden Schweife auch die längsten und geradesten von allen. Je schwerer aber die glühenden Dämpfe sind, um so kürzer werden sie und um so mehr krümmen sie sich, bis zuletzt die aus schweren Metalldämpfen bestehenden statt sich von der Sonne abzukehren, sich ihr vielmehr entgegen werfen, indem bei ihnen die Anziehung der Sonne die Abstoßung überwiegt und über sie siegt.

Für den Schweif des Kometen von 1811, der schließlich eine Länge von 110 Millionen km erreichte, hat Olbers die Geschwindigkeit der Abstoßung auf 90 km in der Sekunde berechnet. Sehr viel größer war die abstoßende Kraft beim Schweife des Donatischen Kometen von 1858, dessen geradlinig vom Kerne ausgehender Strahl mit einer Geschwindigkeit von 180 km in der Sekunde in den Raum hinausflog und sehr rasch eine Länge von 80 Millionen km erreichte. Aber nur selten werden die Schweife so lang. Eine mittlere Länge von 35 Millionen km er-

Digitized by Google

reichte derjenige des Kometen von 1861, während dagegen derjenige des Kometen von 1843 250 Millionen km maß, eine Länge, welche der Entfernung des Mars von der Sonne gleichkommt.

Berberich in Berlin hat nun gezeigt, daß die Kometen in Jahren mit starker Sonnentätigkeit häufiger sichtbar werden und auch mehr leuchtende Schweife entwickeln. Dies ist sehr wohl begreiflich; denn weil in solchen Zeiten die Strahlungsenergie der Sonne eine gesteigerte ist, so müssen auch die durch sie in den Kometen ausgelösten elektrischen und chemischen Vorgänge um so intensivere sein, was eben in der Schweifbildung seinen augenfälligsten Ausdruck findet. Daß die Schweifmaterie eine ganz außerordentlich feine ist, beweist schon der Umstand, daß man durch sie die kleinsten Sterne ohne Lichtverlust hindurchschimmern sieht und auch die Lichtstrahlen keine Ablenkung erfahren. Nur ganz selten werden mehrere Schweife entwickelt. So besaßen die Kometen von 1807 und 1861 zwei, der von 1744 in der Nacht vom 7. zum 8. März sogar sechs fächerartig ausgebreitete Schweife.

Nach dieser allgemeinen Übersicht über die Kometen wird es von Interesse sein, einige der wichtigsten derselben in ihren besonderen Eigentümlichkeiten kennen zu lernen. Der berühmteste und in unserer Erkenntnis älteste der eigentlichen periodischen Kometen ist der Halleysche, der unter diesen auch der hellste und auffälligste ist. Ihn erkannte nämlich Halley als periodisch, als er es zuerst unternahm, nach der von Newton entwickelten Methode die Bahnen von 24 Kometen zu berechnen. Dabei ergab es sich, daß die Bahn des kurze Zeit vorher erschienenen Kometen von 1682 so ähnlich derjenigen des Kometen von 1607 und 1531 war, daß an der Identität dieser in gleichen Zeitabständen erschienenen Kometen nicht wohl gezweifelt werden konnte. Da der einen etwa 20 Grad langen Schweif besitzende Komet sehr gut mit dem bloßen Auge gesehen werden kann, so ist man eben bei jeder seiner Wiederkünfte auf ihn aufmerksam geworden. Ja man konnte bei ihm diese Wiederkünfte mit ziemlicher Sicherheit bis zum Jahre 12 vor Christus zurückverfolgen.

Nach seinem Erscheinen im Jahre 1682 machten sich nun die Rechner daran, das nächste Auftreten des Gestirnes, dessen Wiederkehr Halley annähernd auf das Jahr 1758 vorausgesagt hatte, genauer voraus zu bestimmen. Unter ihnen war weitaus der geschickteste der schon mit 18 Jahren zum Mitgliede der Pariser Akademie gewählte Clairault, welcher mit Unterstützung von Madame Lepaute, der Frau eines damals berühmten Uhrenmachers, in einem Jahre die lang-

wierige Rechnung beendete und sie am 14. November 1758, nur fünf Monate vor der zu erwartenden Rückkehr des Kometen, der Akademie vorlegte. Nach seinen Berechnungen mußte die Umlaufszeit seit der Erscheinung vom Jahre 1682 um 618 Tage, also fast zwei Jahre länger sein, als sie zwischen 1607 und 1682 gewesen war. Er nahm die Wiederkehr zum Perihel um die Mitte April des Jahres 1759 an, bemerkte aber ausdrücklich, daß diese Ankündigung mit großer Vorsicht aufzunehmen sei, da man nicht vergessen dürfe, daß eine Menge kleinerer Größen, die bei Anwendung seiner Annäherungsmethoden hätten vernachlässigt werden müssen, wohl den Termin um einen Monat verändern könnten, daß ferner viele unbekannte Ursachen auf die Bewegung des Kometen einwirken möchten.

Also, um einen Monat Spielraum bat Clairault, wo es sich darum handelte, aus den nur unvollkommenen und seltenen Beobachtungen früherer Jahrhunderte eine Bahn zu berechnen, die in 75 Jahren durchlaufen wurde. Und wenn wir die Bewegung des Planeten in der Bahn näher betrachten, so wird uns diese Unsicherheit noch geringer erscheinen.

Beim systematischen Suchen nach dem Halleyschen Kometen fand ihn auch richtig ein einfacher, aber für die astronomische Wissenschaft sich interessierender Bauer, Palitzsch in Prohlitz bei Dresden, am 25. Dezember 1758, und sein weiterer Lauf ergab, daß er am 12. März 1759 durch das Perihel ging. Die Clairaultsche Vorausbestimmung wich also wirklich nur um die von ihm selbst angegebene Fehlergrenze vom wirklichen Werte ab. Diese Erscheinung ist durch ein doppeltes Verschwinden des Kometen bemerkenswert. Mitte Februar tauchte er in den Strahlen der Sonne unter, trat dann Ende März als glänzende Erscheinung wieder aus ihnen hervor, ging aber so weit südlich, daß er am 22. April auf den europäischen Sternwarten nicht mehr beobachtet werden konnte. Nach einigen Tagen kehrte er jedoch dergestalt in seinem Laufe um, daß er nochmals sichtbar wurde, bis er dann anfangs Juni so schwach wurde, daß ihn kein Fernrohr mehr unsern Blicken wahrnehmbar zu machen vermochte. Er zog weiter und weiter seine ungeheure Bahn, um erst nach $^3/_4$ Jahrhunderten den gespannt nach ihm ausschauenden Augen der Astronomen, und dies mit noch viel größerer Pünktlichkeit als im Jahre 1759, wieder zu erscheinen.

Mit größtem Interesse sah die wissenschaftliche Welt seiner Wiederkehr im Jahre 1835 entgegen, die man inzwischen viel besser bestimmen gelernt hatte. Die hiezu nötigen Rechnungen wurden von verschiedenen Seiten ganz unabhängig von einander gemacht und zwar so, daß die

Unsicherheit dabei auf nur drei Tage geschätzt wurde. Die beiden französischen Astronomen Damoiseau und Pontécoulant setzten den Durchgang durchs Perihel auf den 4. bezw. 7. November 1835, der Deutsche Rosenberger dagegen auf den 12. November. Tatsächlich erfolgte er am 16. November. Am 5. August 1835 wurde der Komet zuerst im Jesuiten-Kollegium in Rom von Pater Dumouchel in naher Übereinstimmung mit dem voraus berechneten Orte gefunden. Er war aber außerordentlich schwach und selbst mit den stärksten Fernrohren kaum zu erkennen. Allmählich aber nahm er an Helligkeit zu und entwickelte sehr lebhafte Gasausströmungen, die besonders Bessel sehr eingehend verfolgte.

Von 1835 bis zur nächsten Erscheinung gibt Pontécoulant 27217 Tage an. Danach sollte der Periheldurchgang am 24. Mai 1910 stattfinden. Indessen soll noch eine genauere Berechnung auch mit Berücksichtigung des inzwischen entdeckten Planeten Neptun vorgenommen werden. Jedenfalls werden dann die Zeitungen nicht ermangeln, das genaue Ergebnis derselben vor dem fälligen Termine bekannt zu geben. Seine Bahn ist übrigens durch ihre Rückläufigkeit ausgezeichnet und bildet eine sehr langgestreckte, noch über die Neptunsbahn hinausgehende Ellipse. In der Sonnenferne steht er 35,4mal weiter als die Erde von der Sonne ab, nämlich über 5000 Millionen km; in der Sonnennähe dagegen nähert er sich ihr auf 0,6 der Erdentfernung, also kaum 100 Millionen km, es verläuft also dann seine Bahn noch innerhalb der Venusbahn. Bei einer so großen Verschiedenheit in der Entfernung vom anziehenden Körper ist natürlich auch die Geschwindigkeit, mit welcher sich der Komet in den verschiedenen Teilen seiner Bahn bewegt, sehr verschieden. Während er in der Sonnennähe etwa 120 km in der Sekunde, also viermal so viel als die Erde, zurücklegt, bewegt er sich in der Sonnenferne nur etwa 2 km in der Sekunde fort. Das ist gewiß ein großer Unterschied; aber bei anderen Kometen, deren Bahnen noch länger gestreckt sind, kommen noch viel beträchtlichere Gegensätze in den Geschwindigkeiten vor. So hat z. B. der Komet des Jahres 1860 nach Enckes Berechnung eine halbe große Achse von 426,8 Halbmessern der Erdbahn, d. h. er entfernt sich 130000 Millionen km von der Sonne, um ihr im Perihel dagegen auf 240000 km, d. i. nur 0,0062 Halbmesser der Erdbahn nahezukommen. Diese weite Bahn durchläuft der Komet in 8820 Jahren und bewegt sich in der Sonnenferne mit nur 4 m, in der Sonnennähe aber mit 550 km in der Sekunde.

Noch viel gestrecktere Ellipsen beschreiben die Kometen 1840 II,

1847 IV, 1780 I und 1844 II, deren Umlaufszeiten 13886, 43954, 75838 und 102050 Jahre betragen. Dabei nähert sich beispielsweise der zuletztgenannte der Sonne bis 0,85 Erdbahnhalbmesser oder 126½ Millionen km und entfernt sich wiederum bis 4366,74 Erdbahnhalbmesser oder 650644½ Millionen km. In der Sonnennähe bewegt er sich 6 mal schneller als die Erde sich in ihrer Bahn bewegt um die Sonne, um in Sonnenferne zuletzt nur noch die Geschwindigkeit eines gemütlich trabenden Droschkenpferdes zu entwickeln.

Die schon im Jahre 1880 von Forbes veröffentlichte Tatsache, daß 7 Kometen, die eine geschlossene Bahn um die Sonne beschreiben, ihren äußeren Abstand von unserem Tagesgestirn in einer 100 mal größeren Entfernung als der mittlere Abstand der Erde von der Sonne beträgt erreichen und 4 davon die nahezu gemeinsame Ebene der Planetenbahnen in einem Abstande von 70 Erdbahnhalbmessern, also in etwas mehr als dem doppelten Abstande vom Zentrum des Systems als ihn der äußerste Planet Neptun, besitzt und wo nach der Titius-Bodeschen Regel ein weiterer Planet erwartet werden könnte, schneiden, läßt es als überaus wahrscheinlich erscheinen, daß dort noch ein transneptunischer Planet existiert, der diese Kometen am Entweichen aus dem Sonnensystem verhindert, indem er sie wieder zu Rückkehr nach der Sonne zwingt. Seit 26 Jahren hat sich dieser englische Gelehrte rechnerisch mit der Forschung nach einem solchen Planeten beschäftigt, von dem er annimmt, daß er noch eine größere Masse als selbst Jupiter besitze und also der größte Planet des Sonnensystems überhaupt wäre. Forbes hat auch versucht, die Stellung dieses mutmaßlichen Gestirns zu berechnen und veranlaßte den Astronomen der Kapsternwarte Roberts, mit Hilfe der photographischen Platte nach ihm zu forschen. Doch ist die Sache bis jetzt ergebnislos geblieben, ein transneptunischer Planet wurde nicht gefunden.

Am 26. November 1818 wurde von Pons in Marseille, einem der unermüdlichsten Kometenjäger, ein fast nur teleskopischer Komet entdeckt, der wegen seiner Lichtschwäche kaum zwei Monate beobachtet werden konnte. Der damals 27jährige Encke, nach welchem der Komet später dann benannt wurde, fand bei der Bahnberechnung statt der erwarteten Parabel eine kurze Ellipse von nur 3,6 Jahren Umlaufzeit, was bis dahin noch nie beobachtet worden war, indem der einzige Komet, von dem man damals wußte, daß er sich in einer geschlossenen Bahn bewege, der Halleysche Komet, 75 Jahre zu einem Umlauf um die Sonne gebrauchte. Und richtig, der neue Komet ließ sich bis zum Jahre 1786 zurückverfolgen.

Aus diesen Daten bestimmte nun Encke mit Berücksichtigung der Störungen aller Planeten, denen er einigermaßen nahekam, aufs neue seine Bahn. Bei der nächsten Wiederkehr im Jahre 1822 war die Stellung des Kometen für die Beobachtung auf der nördlichen Hemisphäre nicht günstig, aber er wurde von Rümker in Paramatta in Neu-Süd-Wales aufgefunden. Die Wiederkehr zum Perihel war etwas verfrüht, und da ähnliches sich schon in den vorhergehenden Umläufen angedeutet fand, so schloß daraus Encke das Vorhandensein eines widerstehenden Mittels im Weltall, des Äthers. Um diese Vermutung zur Gewißheit zu erheben, wurde nun von ihm und von andern ein ganz unglaublicher Aufwand an Geistesarbeit und numerischen Rechnungen geleistet. Diese wie auch alle folgenden Beobachtungen bewiesen zur Evidenz, daß seine Umlaufszeit stets kürzer und damit seine Bahn kleiner wurde, er sich der Sonne also immer mehr nähert, bis er endlich in sie hineinstürzen wird. Nach Enckes Tode wurden die Rechnungen von andern weitergeführt und ergaben, daß die Beschleunigung seiner Bewegung eine ungleichmäßige ist und jedenfalls nicht, wie Encke meinte, auf ein widerstehendes Mittel im Weltenraum zurückgeführt werden kann, vielmehr, wie Backlund es wahrscheinlich machte, durch die Einwirkung eines Meteorschwarmringes, den der Komet durchschneidet, hervorgerufen wird.

Nach 27 Wiederkünften ist er am 5. Februar 1895 zum letzten Mal bei einem Periheldurchgange beobachtet worden und blieb seither verschwunden. Zuletzt hatte er nur noch eine Umlaufszeit von 3,30 Jahren, wobei er sich einerseits bis auf 0,34 Erdbahnhalbmesser oder 51 Millionen km der Sonne näherte, anderseits aber bis auf 4,09 Erdbahnhalbmesser oder 613 Millionen km sich von ihr entfernte. Bei der Besprechung dieses Enckeschen Kometen sei nur noch erwähnt, daß er infolge des großen Einflusses, den Merkur auf seine Bewegung ausübt, ein sehr gutes Mittel bot, über die Masse dieses Planeten Aufschluß zu erhalten. Und gerade für diesen Planeten, der nach unserer Kenntnis von Monden nicht umgeben ist, war es von großem Werte, durch den Kometen in anderer Weise, als es sonst geschehen könnte, zu dieser Bestimmung zu gelangen.

Am 31. Januar 1880 sahen viele Bewohner Südeuropas in der Abenddämmerung einen langen Kometenschweif sich über den Horizont erheben, während der dazugehörige Kopf sich schon in der Sonne verbarg. Später kam auch er zum Vorschein und legte am Himmel genau die Bahn des Kometen von 1843 zurück. Nun erwies die Rechnung, daß die Identität der beiden Kometen vollständig ausgeschlossen war, daß

aber beide in ganz derselben geschlossenen Bahn einherliefen mit einer Umlaufszeit von 772 Jahren bei einer theorischen Unsicherheit von kaum mehr als drei Jahren auf oder ab. Da erschien im Jahre 1882 wiederum auf der Südhemisphäre ein Komet, der in der Folge auch bei uns im Norden sichtbar wurde und zuletzt eine solche Helligkeit erlangte, daß er sogar zur Mittagszeit in unmittelbarer Nähe der Sonne gesehen und sogar sein Eintritt in den Rand der Sonnenscheibe verfolgt werden konnte, was bisher noch bei keinem Kometen möglich war. Bei fortgesetzter Beobachtung sah man, daß infolge der ungeheuren Wärmeentwicklung bei der Annäherung an die Sonne sich vom Kerne 3 Teile loslösten und einer hinter dem andern blieben, der Komet also auseinandergeborsten war, und die genaue Bahnbestimmung ergab, daß er genau in derselben Bahn wie die vorhin genannten Kometen von 1848 und 1880 lief und identisch war mit dem Kometen vom Jahre 1106, der auch anfangs Februar des genannten Jahres am hellen Tage dicht bei der Sonne gesehen wurde.

Dieselbe Bahn, die eine Sonnenferne von 26 005 3/4 Mill. km erreichte, durchzog auch, wie es sich später zeigte, der Komet 1887 I und einige andere früher gesehene. So konnte man schließlich neun Erscheinungen von Kometen nachweisen, von denen vier sicher, fünf andere wahrscheinlich in derselben Bahn liefen, von denen aber nur zwei oder höchstens drei Individuen wirklich identisch waren. Das konnte nun durchaus kein Zufall sein. Man mußte vielmehr annehmen, daß ursprünglich nur ein Komet in dieser Bahn lief, der jeweilen bei der übermäßigen Erhitzung, die er in seinem Perihel erlitt, wo er mit einer Geschwindigkeit von 536 km in der Sekunde nur 200 000 km, also etwa halb so nahe als der Mond von der Erde absteht, vom Sonnenrand entfernt mitten durch die Korona hindurch um das glühende Zentralgestirn sauste, in Teilstücke zerbarst, wie man es am Individuum von 1882 sah, die dann mit verschiedener Geschwindigkeit weiterzogen, wobei einer immer weiter hinter dem andern zurückblieb.

Diese interessante Erscheinung des Auseinanderberstens wurde aber auch an andern Kometen beachtet, die in ganz anderen Bahnen liefen. Berühmt dafür ist vor allem der Komet den der österreichische Hauptmann von Biela am Abend des 27. Februar 1826 im Sternbilde des Widders als einen kleinen runden Nebel mit einem sehr feinen Lichtpunkt in der Mitte entdeckte. Am nächsten Abend hatte sich der Nebel etwa um einen Grad weiterbewegt, war auch etwas heller geworden, so daß kein Zweifel mehr an seiner Kometennatur bestehen konnte. Am

9. März, abends fand Gambart in Marseille denselben Kometen, ohne von der Bielaschen Entdeckung irgendwie Kenntnis erhalten zu haben. Beide fanden nun durch ganz unabhängig von einander ausgeführte Bahnbestimmung, daß der Komet in einer ganz kurzen Ellipse lief, und zu einem Umlauf um die Sonne etwas mehr als 6½ Jahre gebrauchte. Da kam heraus, daß man ihn, ohne von seiner Periodizität

Fig. 27. Bruchstück eines in Kansas (N.-A.) gefallenen Steinmeteoriten, der infolge seiner überaus starken Erhitzung durch Reibung bei seinem Fluge durch die Luft von einer dünnen Schmelzkruste umgeben und geborsten ist. Die Bruchstelle befindet sich auf der unteren Seite (Field Columbian Museum).

irgend welche Ahnung zu haben, schon in den Jahren 1805 und 1772, nicht aber in den dazwischen fallenden 8 Umläufen gesehen hatte. Der Komet war also mehrfach, ohne überhaupt beobachtet worden zu sein, zur Sonne zurückgekehrt.

Für die im Jahre 1832 erwartete Wiederkehr des Kometen bangten viele Leute, als Olbers schon im Jahre 1827 bekannt gab, daß der Komet am 28. Oktober dieses Jahres der Erdbahn bis auf die geringe Entfernung von 32 000 km nahe kommen werde. Gleichzeitig hatte dieser Astronom auch die Folgen einer möglichen Berührung des

Digitized by Google

Kometen mit der Atmosphäre der Erde untersucht und glaubte daraus den Schluß ziehen zu dürfen, daß dadurch weder für die Erde selbst, noch für ihre Bewohner irgend welcher Anlaß zu Furcht gegeben sei. Nicht einmal auf die Witterung sollte er einen merklichen Einfluß ausüben können. Aber trotz dieser beruhigenden Äußerung des namhaften Gelehrten spukte die Angst vor dem möglichen Weltuntergang in vielen Köpfen, bis das Jahr 1832 und der Vorübergang des Kometen ohne die geringsten nachteiligen Folgen geschah.

Im Jahre 1839 blieb der Komet in der Strahlung der Sonne verborgen, aber 1845 wurde er genau am berechneten Orte und sehr früh, nämlich am 28. November, aufgefunden. Am 11. Februar 1846 sollte er durchs Perihel gehen. Bevor er aber so weit war, trat ein bis dahin ganz unerhörtes Ereignis ein. Er verzerrte nämlich zuerst seine Gestalt und ging dann in zwei Hälften auseinander, die sich immer weiter von einander entfernten, bis sie schließlich am 13. Februar 314 000 km oder 24 Erddurchmesser von einander entfernt waren. Nach dem Periheldurchgang fand dann wieder eine leichte Annäherung statt, so daß die beiden Teile, von denen jeder als ein vollkommen ausgebildeter Komet mit Kopf und kleinem Schweif erschien, am 25. März 1846, wie am 10. Januar des gleichen Jahres nur noch 280 000 km von einander entfernt waren.

Sehr merkwürdig war die Wahrnehmung, daß beide Kometen ihre Helligkeit veränderten. Anfangs war der folgende Teil der hellere, dann wuchs der vorausgehende langsam an Helligkeit, bis er am 14. Februar noch etwas heller als der hinter ihm dreinlaufende war. Doch dauerte dieser Wechsel nur ganz kurz, indem schon nach zwei Tagen das frühere umgekehrte Verhältnis wieder eintrat.

Da die Vorausberechnung des nunmehrigen Doppelkometen eine sehr schwierige war, wenn die Kometen eine merkbare Masse besitzen sollten, so erwartete man mit Spannung seine Wiederkehr. Der Ort, wo der Komet zuerst gesehen werden mußte, war natürlich schon lange vorher ausgerechnet worden. Da entdeckte der als Sonnenforscher bekannte Pater Secchi in Rom am 26. August 1852 morgens einen schwachen Kometen, der möglicherweise der Bielasche sein konnte. Doch mußte in diesem Falle der vorausbestimmte Ort nicht unwesentlich falsch sein. Mitte September kam dann auch der sehr viel schwächere vorangehende Begleiter zur Beobachtung, der am 19. September etwas heller als der nachfolgende, am 27. September aber wieder viel schwächer als jener wurde. Dabei hatten sich die Teile bis zum 20. September

um 2640000 km oder 205 Erddurchmesser, also um mehr als das neunfache des früheren Abstandes, von einander getrennt. Nach dem Periheldurchgang am 23. September fand wieder eine leichte Annäherung der beiden um etwa 20000 km statt.

Im Jahre 1859 mußte der Komet wieder zur Sonne zurückkehren, aber ähnlich wie im Jahre 1839 war der von ihm durchlaufene Teil des Himmels der Sonne zu nahe, so daß er nicht gesehen werden konnte. Im Jahre 1866 dagegen hätte er nach seiner Stellung zur Erde leicht gesehen werden müssen. Aber trotz dem eifrigsten Suchen vieler Astronomen blieb er verschwunden. Es konnte also durchaus kein Zweifel mehr bestehen, daß seine Trennung in zwei Teile vom Jahre 1846 der Anfang seiner Auflösung war.

Danach durfte man nur überaus geringe Hoffnung für sein Wiedererscheinen im Jahre 1872 hegen. Aber in der Nacht vom 27. auf den 28. November dieses Jahres, in welcher die Erde die Kometenbahn durchschnitt, erfolgte ein so ungemein reicher Sternschnuppenregen, daß alle Welt, die Zeuge davon gewesen, darüber erstaunt und entzückt war. Aus dem Bielaschen Kometen, dessen Begegnung mit der Erde man vordem so ängstlich entgegensah, war ganz einfach ein enormer, noch in der alten Kometenbahn dahinsausender Meteoritenschwarm geworden!

Auf der Sternwarte in Göttingen wurden in jener denkwürdigen Nacht stündlich etwa 1400 Sternschnuppen statt 13, wie für diese Zeit gewöhnlich ist, gezählt. Achtzig der hellsten Meteorbahnen wurden alsbald in eine Sternkarte eingetragen, aus denen sich in Übereinstimmung mit den Resultaten anderer Beobachter die Lage des Radiationspunktes, d. h. des Punktes am Himmel, aus dem die Sternschnuppen auseinanderzustrahlen schienen, in der Nähe des Sternes Gamma im Sternbilde der Andromeda ergab. Die in Wirklichkeit unter einander parallelen Bahnen der Meteore, die sich gegen die Erde hin bewegen, scheinen nämlich nach rückwärts verlängert einen gewissen Punkt am Himmel zu schneiden, den man eben als Radiationspunkt bezeichnet. Dieser hat, nebenbei bemerkt, für jeden periodischen Schwarm eine unveränderliche Lage am Himmel.

Aus diesem Radiationspunkte berechnete der damalige Direktor der Göttinger Sternwarte, Klinkerfues, ein überaus genialer Mann, der leider elf Jahre später seinem Leben selbst ein Ende setzen sollte, alsbald die kosmische Bahn der so unerwartet in unsere Atmosphäre eingedrungenen Sternschnuppenwolke, woraus ihre Übereinstimmung mit

der des seit dem Jahre 1856 vermißten Bielaschen Kometen sofort klar wurde. An der Zusammengehörigkeit beider Erscheinungen war also absolut nicht mehr zu zweifeln.

War aber die Sternschnuppenwolke aus der Entfernung gesehen wirklich ein Komet, so mußte man sie gleich nach ihrem Zusammentreffen mit der Erde in der entgegengesetzten Richtung als die war, aus der man sie hatte kommen sehen, also in unserem Rücken, als Kometen, in Gestalt einer feinen Nebelmasse wahrnehmen. Diese Richtung mußte offenbar dem Radiationspunkte am Himmel gerade gegenüber liegen, im sogenannten Konvergenzpunkte, d. h. in dem Punkte, in welchem die Sternschnuppenbahnen alle wieder zusammenlaufen würden, wenn man sie jenseits unserer Atmosphäre weiter verfolgen könnte.

Um diese Frage entscheiden zu können, mußte möglichst bald an einer Sternwarte der Südhemisphäre, an welcher der dem Sternbilde der Andromeda entgegengesetzte Konvergenzpunkt sichtbar war, der entschwundene Bielasche Komet gesucht werden. Klinkerfues telegraphierte deshalb am 30. November an Pogson, den Direktor der Sternwarte zu Madras, er möge sofort an der angegebenen Stelle beim Sterne Theta im Zentauren nach dem Vermißten fahnden. Leider vermochte dieser infolge ungünstiger Witterung erst gegen Morgen des 2. Dezember an der angegebenen Stelle am Himmel nachzusuchen. Und, merkwürdig genug, er fand dort wirklich einen kreisförmigen, nebelfleckartigen Kometen mit einem ausgeprägten Kern, aber ohne Schweif. Bis zur anbrechenden Dämmerung konnte er verfolgt werden und zeigte eine sehr merkliche Bewegung, welche der Voraussetzung, daß er mit jenem Sternschnuppenschwarm identisch sei, vollkommen entsprach. Am nächsten Morgen, den 3. Dezember, wurde der Komet wieder gesehen und in ähnlicher Weise als kreisförmig mit hellem Kerne beschrieben. Jetzt war an ihm auch ein Schweif, wenngleich schwach, so doch unzweifelhaft zu erkennen. Da ja der Komet bei seinen früheren Erscheinungen in zwei Teile aufgelöst worden war, so suchte Pogson auch dieses Mal nach dem zweiten Kopf, ohne ihn indessen auffinden zu können. Die nächsten Tage trat leider wieder unausgesetzt trübe Witterung ein, so daß eine dritte Beobachtung, die zur genauen Bahnberechnung erforderlich gewesen wäre, nicht gemacht werden konnte. Am nächsten klaren Morgen war das Objekt nicht mehr aufzufinden. Immerhin hatten die beiden Beobachtungen genügt, um mit Sicherheit festzustellen, daß der verschwunden geglaubte Bielasche Komet noch vor-

handen war und in seiner genau bestimmten Bahn lief, aber sich immer mehr zu einem Sternschnuppenschwarm aufgelöst hatte!

Nach der genauesten Berechnung mußte der Hauptschwarm des Bielaschen Kometen schon 180 Tage vor jenem 27. November die betreffende Stelle der Erdbahn passiert haben und wir sahen in jenem Sternschnuppenregen nur mehr die Nachzügler vor unsern Augen Revue passieren.

Immerhin konnte man jetzt noch einigen Zweifel hegen, ob da nicht der Zufall mitgespielt hatte und Pogson gar nicht den Bielaschen, sondern sonst einen zufällig dort befindlichen Kometen gesehen hatte. Dieser wurde aber endgiltig zerstreut, als genau 13 Jahre später in der Nacht vom 27. November 1885 der in der Bahn des Bielaschen Kometen einherziehende Meteorschwarm, wie übrigens von den Astronomen vorhergesagt worden war, einen brillanten Sternschnuppenregen erzeugte.

Der Bielasche Komet hat eine Umlaufszeit von 6½ Jahren. Befand er sich nun am 27. November 1872 in der Nähe der Erde, um jenen denkwürdigen Meteorregen, der uns über die Beschaffenheit und Zusammensetzung der Kometen einen deutlichen Fingerzeig gab, zu erzeugen, so war er zwar nach 6½ Jahren wieder an der gleichen Stelle der Erdbahn, nicht aber die Erde. Diese befand sich vielmehr um diese Zeit gerade an der gegenüberliegenden Stelle derselben, etwa 300 Millionen km vom Kometen entfernt. Nach zwei Umläufen des letzteren mußten dagegen beide Körper wiederum an der kritischen Stelle zusammentreffen, — und das geschah denn auch richtig, wie von den Astronomen vorausgesagt worden war. Aber diesmal war die Häufigkeit der Meteore eine noch viel größere als im Jahre 1872. Manche Beobachter wollen 40 bis 50 in der Sekunde gezählt haben, es waren aber deren wenigstens fünf in derselben Zeiteinheit, darunter zahlreiche Feuerkugeln, die den Glanz der Venus übertrafen und meist weiß, seltener auch gelb und grünlich strahlten. Viele ließen helle Lichtschweife hinter sich zurück, einzelne derselben krümmten sich in Schlangenlinien, wenn sie in tiefere Schichten der Atmosphäre gerieten, um endlich durch die ungeheure Reibung an der Luft, in Stücke zerrissen, zu verpuffen. Ganz selten kamen auch da und dort Bruchstücke eines Meteors, die, nicht in Dampf aufgelöst zerstoben, auf die Erde, um sich glühendheiß in den harten Boden einzubohren. Ein solches fiel in jener Nacht vom 27. November 1885 zu Mazapil in Mexiko so, daß es von Menschen gefunden und aufgehoben werden konnte und kam in der Folge in die berühmte

Meteorsteinsammlung des Wiener naturhistorischen Hofmuseums, wo wir es mit eigenen Augen sahen. Es ist zwar nur ein ganz unscheinbares Stückchen meteorischen Eisens, das ganz verschwindet in dem Reichtum viel prächtigerer Stücke, die jene Sammlung birgt, aber es ist vor allem denkwürdig, weil wir seine Herkunft genau kennen und bestimmt wissen, daß es ein Stück des Bielaschen Kometen ist, den unsere Väter und Großväter noch am Himmel dahinziehen sahen. Jetzt können wir Nachgeborene es mit Händen greifen, woher die Linien glühender Eisendämpfe kommen, welche wir in den Spektren anderer Kometen, von denen uns noch keine Handstücke zufielen, beobachten.

Die Sternschnuppen vom 27. November 1885 kamen ganz genau aus demselben Radiationspunkte wie diejenigen vom Jahre 1872. Dadurch war mit mathematischer Gewißheit nachgewiesen, daß beide Erscheinungen einem und demselben Schwarme angehörten und daß dieser ein Teil des verschwundenen, seit 1846 in Auflösung begriffenen periodischen Kometen von Biela war. Diese Auflösung schreitet indessen offenbar schnell fort. Wir erkennen dies daran, daß Ende November 1892 wiederum mehr Sternschnuppen als gewöhnlich aus dem Radiationspunkte des Andromedidenschwarmes gesehen wurden, obgleich ihre Zahl nicht entfernt der jener denkwürdigen Tage gleichkam. Der Komet sollte damals, nachdem er seit 1885 einen vollen Umlauf vollendet hatte, erst in 60 Tagen die kritische Stelle der Erdbahn passieren. Um diese Zeit hatte sich ganz augenscheinlich der Meteorschwarm, in den der Komet auseinandergerissen worden war, bereits so sehr in die Länge gezogen, daß wir nur

Fig. 28. Der Meteorit von Butsura in Ostindien, stark verkleinert. Dieser am 12. Mai 1861 gefallene Steinmeteorit wurde bei seinem Fluge durch die Atmosphäre der Erde oberflächlich so stark erhitzt, während das Innere noch außerordentlich kalt blieb, daß die Spannungsdifferenzen ihn unter heftigem Knall zum Zerbersten brachten. Die davon gefundenen 3 Bruchstücke, die in gegenseitigen Entfernungen von 3 km lagen und vollkommen zusammenpaßten, sind infolge der Einwirkung der Hitze vollständig glasig überrindet.

Digitized by Google

den Vortrab von ihm sahen, während das Gros des Schwarmes, der eigentliche Gewalthaufen, erst sehr viel später folgen sollte. Die Erscheinung aber hatte sich in diesem Jahre scheinbar um vier Tage verfrüht, was Berberich und Bredichin aus Störungen erklärten, die der Komet inzwischen durch den gewaltigen Jupiter, der ja überhaupt den Kometen vor Zeiten eingefangen und unserem Sonnensysteme einverleibt hatte, erfahren haben mußte.

Ein auch eine Zeit lang regelmäßig wiederkehrender Komet wie der Bielasche war der am 26. Februar 1846 von Brorsen in Kiel entdeckte, der als ein teleskopischer und ziemlich lichtschwacher Komet erschien. Brunnow und d'Arrest erkannten zuerst, daß er, ebenfalls von Jupiter eingefangen, in einer elliptischen Bahn um die Sonne lief. Seine Umlaufszeit wurde zu $5^1/_2$ Jahren bestimmt, wobei er sich im Perihel 0,588 Erdbahnhalbmesser oder 87 Millionen km der Sonne näherte, im Aphel dagegen sich 5,610 Erdbahnhalbmesser oder 839 Millionen km von ihr entfernte. Die beiden Astronomen gaben seinen nächsten Periheldurchgang auf den 26. September 1851 an. In diesem Jahre wurde er aber nicht wieder aufgefunden, wahrscheinlich aus dem Grunde, weil überhaupt nicht sehr eifrig nach ihm gesucht wurde. Am 18. März 1857 entdeckte ihn Bruns aufs neue und erkannte durch die Rechnung seine Identität mit der Erscheinung vom Jahre 1846. Seine nächste Sonnennähe sollte am 12. Oktober 1862 stattfinden. Aber auch diesmal wurde der Komet nicht gefunden, weil die Astronomen nicht besonders auf ihn aufmerksam gemacht worden waren. Nun aber wurde die rechnerische und beobachtende Verfolgung der periodischen Kometen besser organisiert und Bruns übernahm dabei die Sorge für diesen Kometen. Seine sehr eingehenden Rechnungen legten den nächsten Periheldurchgang auf den 18. April 1868 fest. Und er wurde tatsächlich auch am 11. April von Schmidt in Athen und am 12. April von Bruns selbst aufgefunden, wobei sich die Rechnung als bis auf einen Tag richtig herausstellte, um den das Gestirn früher zur Sonne zurückgekehrt war. Ebenso kam es 1873 und 1879 wieder, aber seither wurde es trotz eifrigen Suchens nicht wieder gesehen. Am 26. März 1894 fand nun Denning einen ihm ähnlich winzigen Kometen, der eine Umlaufszeit von fast $7^1/_2$ Jahren besitzt und sich im Januar 1881 in einem Punkte des Weltraumes befand, in dessen Nähe auch der Brorsensche Komet zu jener Zeit gestanden hat. Wahrscheinlich ist dieser Komet 1894 I nur ein Stück des Brorsenschen Kometen gewesen, der durch irgend einen Vorgang auseinandergerissen wurde. Leider ist dieser Komet bei seiner

nächsten Wiederkehr im Jahre 1902, welche hierüber hätte Aufschluß geben können, nicht wieder gesehen worden.

Solcher Beispiele ließen sich mehrere anführen. Sie alle zeigen, daß das Los aller Kometen ist, von Planeten oder größeren Kometen beziehungsweise großen Meteorwolken, welche ihnen auf ihrem Wege nahe kommen, entweder in neue Bahnen abgelenkt oder auseinandergerissen zu werden. Letzteres wird besonders leicht bei denjenigen eintreten, die im Perihel der Sonne sehr nahe kommen und von ihrer heißen Strahlung zersetzt und aufgelockert werden. Ihr Schicksal ist also, wenn sie nicht schließlich aus unserem Sonnensysteme hinausgeworfen werden, was für die periodischen Kometen nur ganz ausnahmsweise der Fall sein dürfte, in einen sich über immer größere Strecken der Bahn ausdehnenden Meteorschwarm auseinandergerissen zu werden.

Daß die Kometen schließlich in Meteorringe aufgelöst werden, das hat der hauptsächlich durch seine Marsforschungen bekannt gewordene Mailänder Astronom Schiaparelli, lange bevor der Bielasche Komet dies für alle sichtbar kundtat, vermutet und dann auch in seiner im Jahre 1866 erschienen „Theorie der Sternschnuppen“ auf Grund von eingehenden mathematischen Berechnungen klargelegt. Da wir nun wissen, daß die Meteore nur Kometenüberreste sind, so können wir uns auch ohne spektroskopische Untersuchungen über die Zusammensetzung der Kometen Rechenschaft geben. Es sind dies also Anhäufungen von festen und flüssigen meteorischen Massen, eigentliche Weltentrümmer, die auf die Temperatur des Weltalls, den sogenannten absoluten Nullpunkt d. h. -273^{0} C. abgekühlt langsam in den Bereich einer Sonne geraten, um von ihr immer stärker erwärmt zu werden. Dabei werden die sie zusammensetzenden Stoffe, von denen bei der Besprechung der Meteorsteine noch eingehend die Rede sein wird, durch die mit der Annäherung an die Sonne sich steigernde Wärmestrahlung teilweise verdampft, und zwar entweichen daraus naturgemäß zuerst die Stoffe mit verhältnismäßig niederer Siedetemperatur, wie die Kohlenwasserstoffe und die damit verwandten Kohlenoxyde und Cyangase. Denselben Vorgang, den uns das Spektroskop schon beweist, beobachten wir in unseren Laboratorien, wenn wir Meteorsteine stark erhitzen. Nimmt bei zunehmender Annäherung an die Sonne die Erwärmung zu, so beginnen auch die leichten Alkalimetalle zu glühen, unter denen in manchen Kometen das Natrium weitaus vorwiegt. Dann kommen später erst die Metalle der alkalischen Erden und zuletzt erst diejenigen

der schweren Metalle zur Verdampfung und damit zum Glühen. Jetzt erst treten im Spektrum die Eisenlinien auf als Beweis dafür, daß dieses Schwermetall weitaus das häufigste in den Kometenkernen ist. Wir werden ihm tatsächlich auch als Hauptbestandteil der Meteorite begegnen.

Bei der zunehmenden Erhitzung der Kometen sind Stauungen und Spannungen in ihrem Innern ganz unvermeidlich. Ihre Materie lockert sich. Wir erkennen das an lebhaften Schwankungen in ihrer Leuchtkraft, indem sie infolge plötzlicher Befreiung von komprimiert gewesenen Gasen zeitweise heller leuchten. Bei den dabei vor sich gehenden Explosionen kann es auch nicht ausbleiben, daß einzelne Stücke über die sicher nur kleine Anziehungssphäre des Kernes hinausgeschleudert werden. Geschieht dies mit nicht allzu großer Kraft, so werden diese Stücke sich längs der Kometenbahn zerstreuen und einen Sternschnuppenring bilden helfen, der schon durch die regelmäßige Arbeit der Schwerkraft infolge immer längerer Ausziehung der den Kern bildenden Meteorwolke entstehen muß. Ist aber die Explosionskraft eine sehr große, so werden jenen Stücken Geschwindigkeiten erteilt, die sie unter Umständen auch in hyperbolische Bahnen zwingen und sie so aus dem Sonnensystem hinauswerfen. Außer durch die zersetzende Wirkung der Sonnenwärme werden die Kometen aber auch durch die anziehende Wirkung der großen Planeten, hauptsächlich von Jupiter, nicht nur in andere Bahnen gelenkt, sondern auch langsam auseinandergezerrt und auf immer weitere Strecken verteilt. Schließlich haben wir dann an Stelle eines einstigen Kometen einen in seiner Bahn laufenden Ring von Meteoren, die uns in der Regel als Sternschnuppen, seltener als Feuerkugeln entgegentreten, verhältnismäßig sehr selten dagegen als Meteorsteine vor die Füße fallen.

Diese in ihrer Gesamtheit als „fallende Sterne" bezeichneten Erscheinungen haben von jeher in höchstem Grade die Phantasie der Menschen aller Zeiten und Zonen beschäftigt; meist sah man in ihnen die Geister der Verstorbenen, welche auf ihrem vermeintlichen Wege ins Totenreich den Lebenden noch einen letzten Scheidegruß zusandten. Dabei schien jeweilen ein Stern aus der Reihe der übrigen hervorzubrechen, mit größter Schnelligkeit am Himmel dahinzuschießen, und alsbald wieder, bevor man sich dessen recht bewußt geworden, zu verschwinden.

Meist fallen die Sternschnuppen in klaren Nächten einzeln, ohne bestimmte Richtung und in längeren Zwischenräumen, selten lassen sie leuchtende Schweife hinter sich, die nach wenigen Sekunden verschwinden.

Ein einzelner Beobachter sieht deren durchschnittlich nur etwa zehn in der Stunde mit freiem Auge. Rechnet man aber die Zahl aller solcher über dem ganzen Firmamente zusammen, so finden wir, daß die Erde stündlich etwa 300 bis 400 Tausend oder täglich bis zu 10 Millionen Sternschnuppen begegnet. Daraus können wir schließen, daß der ganze Weltenraum von diesem „Himmelsstaub“ gerade so wie unsere Luft mit irdischem Staube erfüllt sein muß. Nimmt man nun das durchschnittliche Gewicht jedes Sternschnuppen auch nur zu 5 g an, was jedenfalls viel zu niedrig gegriffen ist, so ergibt sich, daß der Erde jährlich an 20 Millionen kg Materie aus dem Weltenraume zugeführt wird.

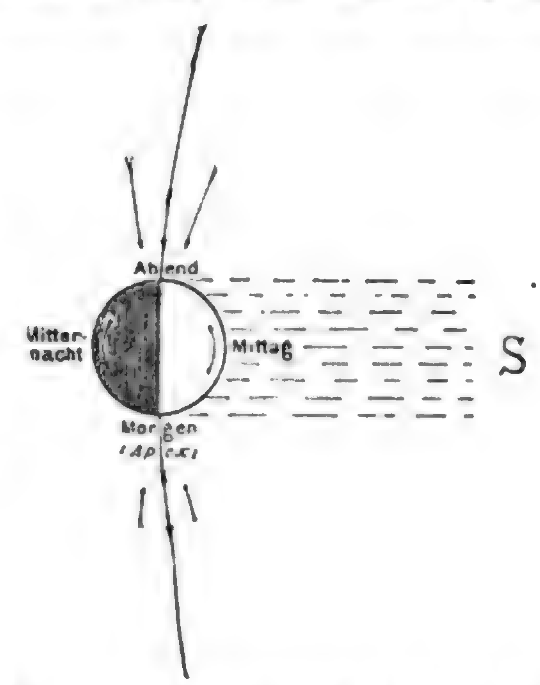


Fig. 29. Die Bewegung der Erde und die Sternschnuppen. S = Sonne. Wir ersehen daraus deutlich, daß diejenigen Teile der Erde, welche in ihrer jährlichen Bewegungen im Raume vorausgehen, sich immer in den Morgenstunden befinden, während die Abendseite hinter sich den leeren Raum zurückläßt. Dieser Zielpunkt der jährlichen Bewegung der Erde am Himmel heißt Apex; an ihm müssen die meisten Sternschnuppen der Erde begegnen.

Als Ergebnis 35jähriger Beobachtung hat zuerst Schmidt auf der Sternwarte in Athen festgestellt, daß sie unverkennbar gegen Morgen zu häufiger sichtbar werden und daß, wenn das Tageslicht nicht die Beobachtung störte, das Maximum um 6 Uhr früh, das Minimum dagegen um 6 Uhr abends eintreten würde. Das ist ganz einfach so zu erklären, daß der Punkt, wo die Uhr 6 Uhr Morgen zeigt, an der Vorderseite der Erde in ihrer Bewegung im Weltraume liegt, während der Punkt, wo die Uhr 6 Uhr Abend zeigt, an der Hinterseite derselben liegt. Infolgedessen erreichen in der letzteren Stellung nur diejenigen Meteore die Erde, welche eine größere Geschwindigkeit in der Richtung der Erdbewegung als die Erde selbst, welche rund 30 km in der Sekunde zurücklegt, besitzen. An der Morgenseite dagegen trifft die Erde nicht nur alle Meteore, welche in entgegengesetzter Richtung wie die Erde sich durch den Raum bewegen, sondern auch diejenigen, welche in derselben Richtung wie die Erde dahineilen, deren Geschwindigkeit aber nicht 30 km in der Sekunde erreicht.

Ferner hat Schmidt nachgewiesen, daß bei uns auf der nördlichen Hemisphäre, ganz abgesehen von den großen und außerordentlich reichen Sternschnuppenschwärmen, die just in dieser Zeit sich zeigen, in der zweiten Hälfte des Jahres doppelt so viel Sternschnuppen als in der ersten fallen. Dies kommt daher, daß der vorderste Punkt an der dahineilenden Erde im ersten Halbjahre, d. h. vom 21. Dezember bis 21. Juni auf der südlichen, im zweiten Halbjahre dagegen auf der nördlichen Halbkugel liegt. Da nun außer diesen der Erde als solcher angehörenden Bewegungen unser Planet sich mit allen übrigen Mitgliedern des Sonnensystems, wie wir früher gesehen haben, mit einer Geschwindigkeit von rund 20 km in der Sekunde durch den Raum in der Richtung gegen einen Punkt im Sternbild des Herkules hinbewegt, sollte man vermuten, daß auch von dieser Seite mehr Meteorite auf die Erde stürzen als von der entgegengesetzten Seite, da ja diese größtenteils nicht unserm Sonnensystem angehören. Die Berechnung zeigt nun nach von Nießl in Brünn, daß die Erwartung allerdings zutrifft, aber der Unterschied zwischen den beiden Seiten höchst gering ist. Es kommt also die Eigenbewegung unseres Systems gegenüber derjenigen, die diese Irrgäste des Himmels an sich schon haben, gar nicht zur Geltung.

Derselbe Nießl und der Amerikaner Newton haben mit aller Bestimmtheit nachgewiesen, daß die meisten Meteore in stark hyperbolischen Bahnen durch den Raum fliegen, ihnen also eine große Eigenbewegung innewohnen muß, die sie unermeßlich weite Wege aus den Tiefen des Weltalls von den fernsten Sternen in den Bereich unseres Sonnensystems gelangen läßt. Diese ihre Bahnen schon beweisen, daß sie nicht aus unserm System stammen, sondern von außen in dasselbe hereingedrungen sind. Spektroskopisch erkennt man an ihnen, die als Sternschnuppen meist mit der Helligkeit von Sternen 2. und 3. Größe leuchten, ein kontinuierliches Spektrum als Zeichen dafür, daß in ihnen feste Körper glühen; daneben sieht man, im Schweife besonders, helle Linien aufblitzen, als Beweis dafür, daß von der glühenden Oberfläche der festen Körper leuchtende Gase ausströmen.

Die Höhe, in welcher die Sternschnuppen aufleuchten und verlöschen, läßt sich aus korrespondierenden Beobachtungen von verschiedenen Punkten aus ermitteln. Der italienische Pater Secchi fand unter Anwendung einer Basis von 65 km, nämlich Rom-Civita Vecchia, daß sie etwa bei 120 km Höhe aufleuchten und 80 km über der Erde schon erlöschen. Etwas größere Höhen für ihr Aufleuchten und Verschwinden fand der Amerikaner Newton aus der Beobachtung der sogenannten

Novembermeteore, nämlich 155 und 96 km, und auch Weiß berechnet für die Augustmeteore in nicht seltenen Fällen 180 km als die Höhe des ersten Aufleuchtens. Dabei bewegen sie sich mit Geschwindigkeiten, die von 20 km in der Sekunde bis 150 km in der Sekunde gehen und zwar bewegen sich die schwächeren, nur in den Teleskopen sichtbaren Meteore langsamer als die helleren, mit bloßem Auge sichtbaren.

Indem die Meteore, mit kosmischer Geschwindigkeit einhersausend, in die Lufthülle der Erde eindringen, wird diese, wie wir vom pneumatischen Feuerzeuge her wissen, so stark zusammengepreßt, daß die von ihr ausgehende Hitze nebst der Reibungswärme diese festen Körper zum Glühen bringt, wobei die kleineren ganz verbrennen und verpuffen. Durch die kolossale Erhitzung der Außenschicht infolge von Reibung an der Luft, während der innere Kern noch die äußerst niedrige Temperatur des Weltraumes besitzt, entsteht eine solche Spannung im Meteore, daß es sehr leicht auseinanderberstet. Dieses explosive Zerfallen wird noch dadurch befördert, daß die hinteren Partien des Meteors gleichzeitig gegen die durch den Luftwiderstand in ihrer Bewegung gehemmten vorderen Partien gestoßen werden. Nach einer mathematischen Berechnung Hausers wird durch diesen Stoß eine so gewaltige Energie frei, daß sie allein schon genügt, die Kohäsionskraft des Meteors zu überwinden, d. h. ihn in Stücke zu zerreißen.

Durch den infolge ihrer enormen Geschwindigkeit überaus großen Widerstand der Luft vermindert sich die Geschwindigkeit der Meteore um so mehr, je tiefere Regionen sie erreichen, und zwar tritt die größte Verminderung derselben in den obersten verdünntesten Schichten der Atmosphäre ein. Dadurch ist es auch erklärlich, daß größere Meteore, die in den obersten Schichten der Luft nicht verpuffen, sondern als Feuerkugeln auf die Erde herabfallen, mit so geringer Geschwindigkeit auf ihr anlangen. Ihre so enorme kosmische Geschwindigkeit haben sie eben infolge des Luftwiderstandes in wenigen Sekunden so gut wie verloren und ihr Herabfallen ist im wesentlichen der Einwirkung der Schwere zuzuschreiben, welche sich erst bemerkbar macht, wenn ihre kosmische Eigenbewegung zerstört ist.

Im allgemeinen müssen die höheren Sternschnuppen die helleren sein. Weil sie nicht so tief wie die letzteren in unsere Atmosphäre herabsteigen, verlieren sie in den dünnen obersten Schichten der Atmosphäre weniger von ihrer lebendigen Kraft als jene und können daher unter sonst gleichen Verhältnissen eine weit größere Wärme entwickeln. Diese, die gleich nach dem Eindringen des Meteors in die allerhöchsten Luft-

schichten am größten ist und vollkommen genügt, um die Metalle zu verdampfen, wenn sie allerdings auch nicht sehr tief in den Körper hineindringt, nimmt dann mit der Hemmung der Bewegung infolge des ungeheuren Widerstandes der Luft rasch ab, und zwar für die kleineren Eindringlinge schneller als für die größeren.

Diese helleren Meteore, die wir als Feuerkugeln bezeichnen, haben ganz ansehnliche Größen. So hat von Nießl in Wien für 20 von ihm berechnete Feuerkugeln auf Grund der von den Beobachtern angegebenen Größenschätzungen Durchmesser zwischen 116 m und 1880 m gefunden. 15 unter ihnen hatten solche zwischen 300 und 800 m. Der mittlere Durchmesser dieser 20 war 636 m. Am häufigsten werden solche von 300 und 400 m, nicht selten aber auch solche von nahezu 1000 und mehr m Durchmesser beobachtet. Bemerkenswert ist, daß der kleinste dieser Werte einer am 7. Juli 1892 gesehenen Feuerkugel zukam, die sich sehr hoch, nämlich 68 km von der Erdoberfläche entfernt, durch die obersten Schichten der Atmosphäre dahinbewegte. Das bestätigt die von vornherein wahrscheinliche Vermutung, daß größere Körper leichter als kleinere in die tieferen Luftschichten einzudringen vermögen. Die größte von Nießl beobachtete Feuerkugel erlosch bereits in 61 km Höhe. Wir sehen also, wie die Atmosphäre uns Erdbewohner besser als der stärkste Panzer, der ja dabei unfehlbar in die Brüche gehen müßte, vor dem fortwährenden Anprall dieser Himmelsgeschosse schützt, indem diese schadlos verbrennen bevor sie die Erde selbst erreichen oder doch wieder hinausgeworfen werden. Daß von den beständig in der Luft verpuffenden Meteoren ein feiner eisenhaltiger Staub zur Erde hinabfällt, wurde ja schon in einem frühern Abschnitte erwähnt.

Die immerwährend in die Lufthülle unserer Erde eindringenden Meteore erfahren eine besondere Häufung am 10. August und am 12. November jeden Jahres, an welchen Tagen eigentliche Sternschnuppenschauer sich zu ereignen pflegen, die historisch weit zurück zu verfolgen sind. So der Augustschwarm, der nach dem Tagesheiligen, dem im Jahre 258 in Rom verbrannten Märtyrer Laurentius, als die „feurigen Tränen des Laurentius" bezeichnet wird, bis zum Jahre 830, derjenige vom November bis 902. Stets trafen sie mit kaum mehr als einem Tage Unsicherheit an derselben Stelle der Erdbahn mit uns zusammen. Weil der Laurentiusschwarm seinen Radiationspunkt im Sternbilde des Perseus hat, bezeichnet man ihn auch mit dem Namen der Perseiden, während die Novembermeteore aus dem Sternbilde des Löwen herkommen und deshalb als Leoniden bezeichnet werden.

Schon die unveränderliche Lage ihres Radiationspunktes beweist mit Sicherheit, daß wir es hier mit einem kosmischen Phänomen zu tun haben. Beide Sternschnuppenschwärme bewegen sich in retrograder d. h. rückläufiger Bewegung um die Sonne, und zwar wies Schiaparelli nach, daß die Perseiden dieselbe Bahn wie der von Tuttle entdeckte Komet 1862 III mit einer Umlaufszeit von 123 Jahren haben, daß die Leoniden dagegen sich in der Bahn des von Tempel entdeckten Kometen 1866 I bewegen. Dieser letztere, der eine Umlaufszeit von $33^1/_5$ Jahren hat, bildet einen mit bloßem Auge überhaupt nicht wahrnehmbaren verschwommenen Kometen, der sich noch nicht so sehr wie der vorige zu einem einigermaßen gleichmäßigen Ring kosmischen Staubes aufgelöst hat, sondern an einer Stelle noch eine stärkere Anhäufung von Materie besitzt, so daß alle 33 Jahre, wenn diese die Erdbahn kreuzend mit der Erde zusammentrifft, ein viel stärkerer Sternschnuppenregen als gewöhnlich sich ereignet. So beobachteten Alexander von Humboldt und Aimé Bonpland am 12. November 1799 zu Cumana in Venezuela von etwa $2^1/_2$ Uhr nachts an plötzlich tausende von Sternschnuppen, mit Feuerkugeln untermischt; so daß bald der ganze Himmel von diesen aufleuchtenden Meteoren, die alle in ähnlicher Richtung zogen, eingenommen war. Man berichtete ihnen, daß man einen ähnlich prächtigen Sternschnuppenfall im November des Jahres 1766 beobachtet habe. Sehr schön traten die Novembermeteore wieder im Jahre 1833 auf. Littrow berichtet von damals: „Die Feuerkugeln gingen raketenartig von einem einzigen Punkte aus, und zwar in so

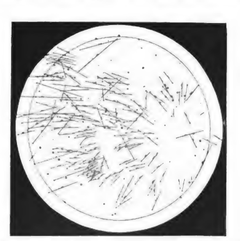


Fig. 30. Von A. L. Colton auf der Lickssternwarte am 10. August 1894 aufgezeichnete Sternschnuppenbahnen des Meteorschwarmes der Perseiden, früher als feurige Tränen des hl. Laurentius bekannt. Die Richtung und Länge der Pfeile gibt die jeweiligen Flugbahnen der Meteore an.

großer Zahl, daß sie dicht wie Schneeflocken fielen und der Himmel fast ganz in Feuer zu stehen schien."

Die Erscheinung wiederholte sich ebenso glänzend im Jahre 1866, war aber im Jahre 1899 sehr schwach, als Beweis dafür, daß sich der eine Hauptschwarm inzwischen langsam über die ganze Bahn auszubreiten begonnen hat. Dieses Ereignis hat sich in der langgestreckten elliptischen Bahn der Augustmeteore schon viel stärker vollzogen. Hier sind die einzelnen Sternschnuppenkörper viel gleichmäßiger über die ganze lange Kometenbahn, die sich 49 Erdbahndurchmesser oder 7350 Millionen km von der Sonne entfernt, ausgestreut, so daß nicht mehr periodische Anhäufungen von Sternschnuppen auftreten, sondern jedes Jahr, wenn die Erde die Kometenbahn kreuzt, etwa gleichviel solche beobachtet werden. Immerhin glaubt Rudolf Wolf in Zürich aus der auch hier etwas schwankenden Intensität der Erscheinung auf 13 einzelne wolkenförmige Anhäufungen in diesem Ringe schließen zu können. Der Auflösungsprozeß ist also bei den Perseiden viel weiter als bei den Leoniden fortgeschritten, so daß wir annehmen dürfen, daß dieselben schon viel länger unserem Sonnensystem angehören als letztere.

Ähnliche sich auf einen oder einige wenige Tage bemerkbar machenden Schwärme sind die Andromediden mit ihrem Maximum am 27. November, von denen wir bereits gesehen haben, daß sie aus einer Meteorwolke des aufgelösten Bielaschen Kometen bestehen, ferner die Quadrantiden in den ersten Tagen des Januars, die Lyriden am 22. April, die Orioniden am 18. Oktober und die Geminiden am 10. Dezember.

Größere Sternschnuppen, die nicht in den obersten Schichten der Atmosphäre verpuffen, sondern in tiefere Luftregionen gelangen, nennt man Boliden oder Feuerkugeln. So wurde z. B. die große Feuerkugel vom 12. März 1899 um 9 Uhr 47 Minuten abends in Riga als Sternschnuppe beobachtet. In kurzer Zeit nahm aber ihre Lichtentfaltung ungeheuer zu und verbreitete sich über große Strecken von Schweden, Finnland und den Ostseeprovinzen, so daß die Gegenstände scharfe Schatten warfen. Da schlug die Feuerkugel in der Nähe der finnländischen Stadt Borgo ein Loch von 9 m Durchmesser ins Eis des finnischen Meerbusens und fiel auf den lockeren Meeresboden, wo sie sich ziemlich tief in den Schlamm eingrub. Später hat man große Stücke des dort niedergegangenen Meteors ausgehoben, die zusammen 325 kg wogen. Es war ein sogenannter Steinmeteorit, dessen hauptsächliche Bestandteile erdig und nicht metallisch sind.

Je und je sind solche Steine vom Himmel gefallen und werden bereits in den ältesten Chroniken erwähnt. So lesen wir schon in der Bibel, daß Gott zur Zeit des Josua große Steine vom Himmel sandte. Dann erwähnt Plutarch im Leben des Lysander, daß im Jahre 476 vor Christus bei Aigos Potamos, d. h. dem Ziegenflusse am Hellespont, ein Stein „so groß wie ein Wagen" zur Erde fiel. Von da an bringen die griechischen und römischen Schriftsteller hie und da Nachrichten über Aerolithenfälle. In Rom soll schon in alter Zeit, nämlich unter Numa Pompilius, eine schildförmige Masse, das ancile, vom Himmel gefallen und in der Folge als heiliger Fetisch verehrt worden sein. Es ist ja kein Wunder, daß bei allen Völkern solche vom Himmel gefallene Steine in Kultstätten aufbewahrt wurden und eine scheue Verehrung genossen; so bei den ältesten Griechen auf Kreta, in Theben, Ephesos, zu Pissinos in Phrygien und an anderen Orten, von denen uns außer den historischen Berichten auch auf zahlreichen aus dem Altertume stammenden Münzen solche für heilig gehaltene vom Himmel gefallene Steine, die als Fetische, d. h. Sitze eines mächtigen Geistes, verehrt wurden, als sogenannte Bätylien Abbildungen erhalten sind und zwar besonders auch aus römischer Zeit. Weitaus das größte und dauerndste Ansehen unter allen Meteoriten genoß indessen der 2 m hohe, Hadschar el Aswad genannte schwarze Stein, so gefärbt von seiner äußeren Schmelzkruste, welcher in der südlichen Ecke der Kaaba in Mekka als heiliger Fetisch heute noch von der ganzen mohammedanischen Welt verehrt wird.

Im Mittelalter und in der Neuzeit werden die Berichte über Aerolithen immer häufiger. Überall erregten sie das größte Aufsehen, zumal wenn ein solcher Steinfall von außergewöhnlichen, allerdings meist rein zufälligen Umständen begleitet war. So der Fall von Ensisheim im Elsaß, wo am 7. November 1492 um die Mittagszeit unter gewaltigem Knall, der bis in die Zentralschweiz und weit nach Schwaben und Burgund hinein gehört wurde, neben zahlreichen kleineren Stücken ein fast drei Zentner schwerer Eisenmeteorit in einen Acker in der Nähe jenes Städtchens fiel. Zahlreiche Stücke wurden zwar im Laufe der Zeit von ihm abgeschlagen und verschenkt, aber ein ziemlich großer Klotz wird heute noch im dortigen Rathause aufbewahrt. Damals benützte Kaiser Maximilian I. das merkwürdige Ereignis, das Sebastian Brant in Versen besungen hat und das die Gemüter aufs intensivste beschäftigte, dazu, beim deutschen Volke den Glauben zu erwecken, daß dadurch Gott die Christenheit zum Kampfe gegen die Ungläubigen, in diesem Falle die Türken, aufforderе.

Bisweilen wird die Zahl der vom Himmel gefallenen Steine als eine sehr große angegeben. So berichtet eine chinesische Chronik, daß im Jahre 616 zehn Menschen von einem Steinregen getötet wurden. Im Jahre 823 sollen in Sachsen 35 Dörfer durch einen solchen in Brand gesteckt worden sein. Bei Crema an der Adda fielen am 4. September 1511 über 1000 Steine vom Himmel, von denen einige mehr als zentnerschwer waren und zahlreiche Tiere, auch einen Priester, totschlugen. Am 26. Mai 1751 fielen abends 6 Uhr in Hraschina bei Agram aus einem aus Osten einherziehenden glänzenden Meteore, das unter furchtbarem Knalle zersprang, worauf ein länger dauerndes Brausen und Rasseln erfolgte, zwei Eisenmeteorite „drei Ellbogen tief" in ein frischgeackertes Feld. Beide Steine wurden mit einem im Auftrag der Kaiserin Maria Theresia vom dortigen Bischof aufgenommenen Protokoll nach Wien geschickt, wo heute noch der größere derselben von 39,2 kg Gewicht im naturhistorischen Hofmuseum aufbewahrt wird. Als dann im Jahre 1790 eine Urkunde darüber veröffentlicht wurde, schrieb der damalige Vorsteher des Hofmineralienkabinetts dazu folgende Randglossen: „Daß das Eisen vom Himmel gefallen sein soll, das mögen im Jahre 1751 selbst Deutschlands aufgeklärtere Köpfe bei der damals unter uns herrschenden Unwissenheit in Naturgeschichte und Physik geglaubt haben; aber in unserer Zeit wäre es unverzeihlich, solche Märchen auch nur wahrscheinlich zu finden". Mit diesem Gelehrten hielten es alle Gebildeten jener Zeit für direkt unmöglich und nur auf grober Täuschung beruhend, daß Steine vom Himmel fallen.

Im gleichen Jahre 1790 ereignete sich in Juillac in der Gascogne ein Meteorsteinfall, über den die Gemeindebehörde ein von über 300 Augenzeugen unterschriebenes Protokoll aufnehmen ließ. Als die Pariser Akademie dieses Dokument erhielt, belustigte es diese aus einer Elite der französischen Gelehrten bestehende Körperschaft sehr, und der bekannte Physiker Berthelon schrieb darüber: „Wie traurig ist es, eine ganze Dorfschaft durch ein Protokoll in aller Form Volkssagen bescheinigen zu sehen, die nur zu bemitleiden sind. Was soll ich einem solchen Protokoll weiter beifügen? Alle Bemerkungen ergeben sich dem philosophischen Leser von selbst, wenn er dieses authentische Zeugnis eines offenbaren falschen Faktums, eines physisch unmöglichen Phänomens liest."

Vier Jahre, nachdem der urkundlich belegte Bericht über den Meteoritenfall von Juillac von der offiziellen gelehrten Welt geleugnet worden war, trat im Jahre 1794 der als Begründer der wissenschaftlichen Akustik bekannte Physiker Chladni aus Wittenberg mit einer

Schrift auf, worin er mit vollster Bestimmtheit nachwies: „erstens, daß öfters Stein- und Eisenmassen vom Himmel gefallen sind und dieses als historisch erwiesene Tatsache anerkannt werden muß; zweitens, daß dieses Ereignis identisch mit den Feuerkugeln ist und diese nichts anderes als eine solche brennende Masse sind; drittens, daß diese Massen kosmisch, d. h. Ankömmlinge aus dem Weltenraum sind, welche vorher der Erde und ihrer Atmosphäre fremd waren." Wegen dieser Behauptungen wurde nun Chladni von allen Seiten schwer angegriffen, ja, ein Gelehrter, Deluc, ging so weit, zu sagen, daß, wenn er einen solchen Stein zu seinen Füßen würde niederfallen sehen, er erklären würde: ich habe es gesehen, aber ich glaube es nicht. Ein anderer verstieg sich sogar so weit, zu behaupten, daß Chladni wegen seiner Ansicht über die Meteoriten „unter diejenigen zu rechnen sei, welche alle Weltordnung leugnen und nicht bedenken, wie sie an allem Bösen in der moralischen Welt schuld sind".

Glücklicherweise fügte es der Zufall, daß Chladni trotz aller Angriffe gerechtfertigt aus dem Streite hervorging und infolgedessen seine Lehre bald allgemeine Anerkennung fand, indem bald nach dem Erscheinen seiner Schrift eine ganze Anzahl bedeutender und von zahlreichen zuverlässigen Zeugen beglaubigter Meteoritenfälle in Europa sich ereigneten. Zuerst am 16. Juni 1746 in Siena, wo beispielsweise einem Kinde von einem Meteorstein der Hut durchbohrt wurde, dann am 13. Dezember 1795 in Woldcottage in Yorkshire und besonders am 26. April 1803 bei L'Aigle in der Normandie, wo am heiterhellen Tage nach einer fürchterlichen Explosion in der Luft unter starkem Getöse etwa 3000 Steine auf einer elliptischen Fläche von 19 km Länge und 7½ km Breite niederfielen. Daraufhin trat der berühmte Physiker Biot mit aller Entschiedenheit auf die Seite Chladnis, und seither zweifelte niemand mehr am tatsächlichen Vorkommen von Meteoriten.

Ja, es gibt Steine, die vom Himmel fallen! Öfter sieht man sie als glänzende Feuerkugeln durch die Luft sausen und bisweilen hört man sie auch unter Geknall explodieren. So bewegte sich am 15. Oktober 1889 ein Meteor mit einer Geschwindigkeit von 50 km in der Sekunde über Norddeutschland und platzte, als es etwa 48 km über Nordhausen am Südrande des Harzes stand. Trümmer desselben sind indessen nicht entdeckt worden. Ein anderes zog am 7. Juli 1892 über Österreich und Italien mit einer Geschwindigkeit von 87 km in der Sekunde. Nach seiner größten Annäherung an die Erde, die in 68 km Höhe über Rumänien stattfand, erreichte es wenige Minuten

später eine Höhe von 158 km über dem Tyrrhennischen Meer und verließ dort wieder die Erdatmosphäre ohne zu platzen. Auf dem ganzen Wege sah man Teile vom ihm nach allen Seiten absprühen. Am 30. Januar 1868 flog ein Meteor mit 55 km Geschwindigkeit in der Sekunde über einen Teil Sibiriens und platzte hoch über Pultusk, in einer Streufläche von 17 km Länge und 8 km Breite etwa 100000 Steine von unter 0,1 g bis 9 kg Gewicht ausstreuend. In noch größerer Ausdehnung, nämlich 25:7,5 km, fielen beim Steinfall von Mócs bei Klausenburg in Siebenbürgen mehr als 100000 Steine, von denen das größte Stück 35 kg wog. Das Gesamtgewicht der gefallenen Masse wird auf 400 bis 500 kg geschätzt.

Denkwürdig war auch der Fall des ursprünglich 300 kg schweren, etwa einen halben cbm haltenden Steinmeteoriten, der am hellen Tage in Knyahinya in Ungarn unter gewaltigem Getöse, in eine Rauchwolke gehüllt, in einen Acker fiel, wobei er in vier Stücke zerbarst. Dieser wieder zusammengesetzte, nunmehr 293 kg schwere Stein ist das Prachtstück der großen Wiener Meteoritensammlung. Er ist von einer leichten, orientierten Schmelzkruste bedeckt, d. h. man sieht an ihm noch deutlich das strichweise von vorn nach hinten Abfließen von Schmelzschichten, während der Stein sich durch den ungeheuren Widerstand und die starke Reibung an der Luft stark erhitzte.

Außer diesem größten der uns ziemlich intakt erhaltenen Steinmeteoriten, die man fallen sah, kennt man noch größere, meist Eisenmeteorite, die man als solche an ihrer Struktur erkennt. So fand man einen solchen von 15000 kg in Mexiko, einen andern von 10000 kg in Oregon in Nordamerika. Im Jahre 1891 fand man im Canóndiablo in Arizona eine große Anzahl von Eisenmeteoriten, von denen die größten 425, 300 und 150 kg wogen, und die um ein mächtiges Loch von 190 m Tiefe und 3,4 km Umfang zerstreut lagen. Zweifellos ist letzteres beim Einschlagen eines großen Meteoriten entstanden, das vermutlich erst bei der Berührung mit dem Boden explodierte. Durch atmosphärische Korrosion entsteht dann bei diesen Eisenmeteoriten eine Näpfchenbildung an der Oberfläche durch Freilegung der octaedrischen Lamellen, von denen alsbald die Rede sein wird. Schließlich greift die Verwitterung nicht nur an den Stein-, sondern auch an den Eisenmeteoriten immer tiefere Schichten an, bis sie endlich gänzlich zerfallen und ihr Eisen vollständig in rostroten Limonit verwandelt ist.

Schneller geht natürlich der Zerfall bei den kleinen Steinen, welche die Regel bilden, vor sich. So kann der eisenhaltige Meteorstaub, der

oft in großen Mengen herabfällt und die wissenschaftliche Bezeichnung Kryokonit führt, durch rasche Oxydierung die Schneedecke auf weite Strecken rostrot färben. Nordenskjöld berichtet von einem solchen gehäuften Fall meteorischen Staubes, der sich am 3. Mai 1892 ereignete und dessen Spuren in Dänemark, Schweden, Finnland und Norddeutschland auf einem 1650 km langen und 300 bis 500 km

Fig. 31. Der Eisenmeteorit von Long Island (N.-A.) mit infolge oberflächlicher Abschmelzung und nachfolgender Verblasung rauher Oberfläche in natürlicher Größe. Das Streichen der Abschmelzungsspuren von links oben nach rechts unten läßt uns die Flugrichtung des Meteors erkennen.

breiten Gebiete zu verfolgen waren. Er schätzt die damals gefallene Menge Staub auf 500 Millionen kg. Nach demselben Gewährsmanne senkte sich am 6. November 1472 auf Konstantinopel eine schwarze Wolke herab, aus der eine handhohe Schicht eines unangenehm riechenden, heißen Staubes niederfiel. Am 3. Dezember 1586 fiel bei Werden in Hannover nach einer heftigen Explosion in der Luft ein schwarzer Staub herab,

Digitized by Google

der so heiß war, daß er Bretter verkohlte. Am 13. und 14. März 1813 senkte sich über weite Gebiete im südlichen Italien ein rostroter Staub hernieder, der an seinem Nickel- und Chromgehalt die meteorische Abstammung verriet. Ähnliche Fälle gehäuften meteorischen Staubes infolge Auflösung von Meteoren in großer Höhe, ohne daß man eine Explosion nachweisen konnte, sind auch anderwärts mehrfach bekannt geworden. Nur selten hört und fühlt man die Detonation so gut, wie an jenem Meteor, das am 10. Februar 1896 etwa 30 km über der Stadt Madrid am Tage explodierte und trotz dieser weiten Entfernung die Luft so sehr erschütterte, daß Mauern einstürzten und Fenster zertrümmert wurden. Die Schallerscheinung konnte noch in einem Umkreise von 250 km wahrgenommen werden. Dabei fielen nur wenige Steine, dafür aber ziemlich viel Staub. Auch viele Feuerkugeln hinterlassen am Himmel eine oft stundenlang sichtbar bleibende Staubwolke, die sich erst ganz allmählich zu Boden senkt.

Die eingehende chemische Untersuchung der Meteoriten hat ergeben, daß sie nicht einen einzigen Grundstoff enthalten, der sich nicht auch auf der Erde findet. Bei der verhältnismäßig geringen Zahl von Steinfällen, die wir kennen, kann es durchaus nicht verwundern, daß wir allerdings bis jetzt im ganzen nicht einmal ein Drittel der bekannten irdischen Elemente in ihnen gefunden haben; denn ohne Zweifel wird sich mit der Zahl der untersuchten Steine auch die Zahl der sie zusammensetzenden Stoffe mehren. Während in den Meteoriten wie auf der Erde Eisen, Magnesium und Silicium zu den verbreitetsten Elementen gehören, sind in ihnen Calcium, Kalium, Natrium und Aluminium weit schwächer als auf der Erde vertreten; Zink, Blei und die edlen Metalle fehlen bis jetzt ganz und Nickel spielt, namentlich in Verbindung mit Eisen, eine weit größere Rolle als in den irdischen Gesteinen. Es kommt zwar in den irdischen Eisenerzen auch immer Nickel vor, aber lange nicht in so großer Menge und vor allem nicht in ähnlich kristallinischer Form. Wenn aber auch derartige Abweichungen in Einzelheiten sich zeigen, so liefern uns doch im ganzen die Meteoriten einen überraschenden und vollgiltigen Beweis für die schon aus der Spektralanalyse sich ergebende Lehre von der Einheit der Materie durch das ganze Universum. Was uns die Analyse des Lichtes von Sonne, Sternen und Nebelflecken bei dessen prismatischer Zerlegung offenbart hat, das sehen wir durch die Untersuchung der Kometenbruchstücke, die ja nichts anderes als aus den fernsten Himmelstiefen zu uns gelangte

Weltentrümmer sind, glänzend und geradezu handgreiflich bestätigt.

Während der größte Teil der meteorischen Mineralien in derselben chemischen Zusammensetzung und Kristallform wie auf der Erde vorkommen, sind einige wenige, wie Nickeleisen, Schwefelcalcium, Eisenchlorür, ferner gewisse Verbindungen von Phosphor mit Eisen und Nickel (Schreibersit) und von Schwefel mit Eisen und Chrom (Daubréelith) auf unserem Planeten noch nicht gefunden worden.

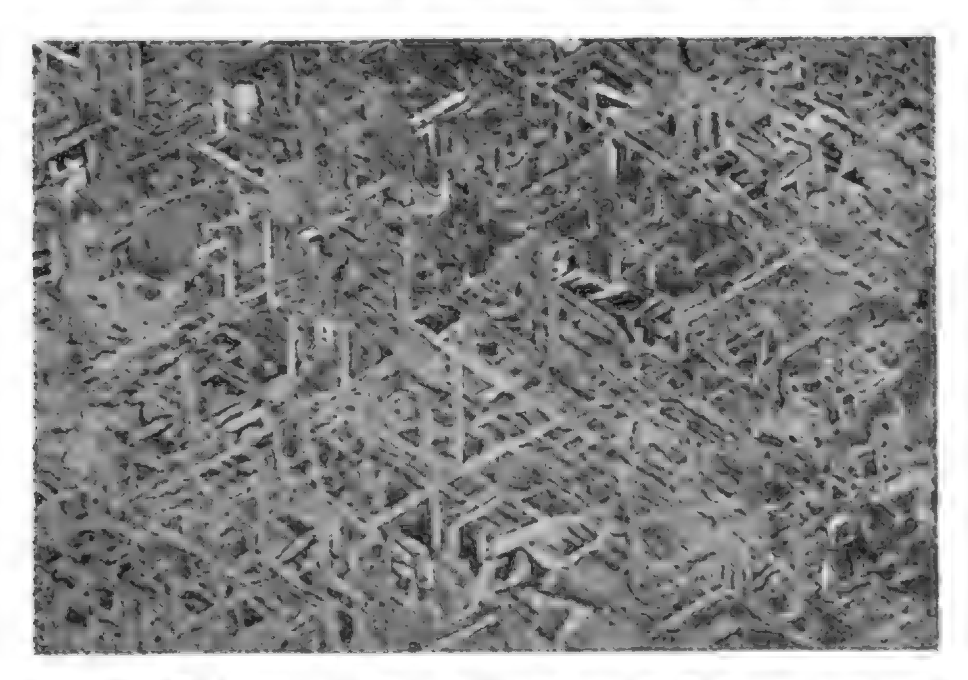


Fig. 32. Widmannstättensche Figuren im Meteoreisen, durch Ätzung der geschliffenen Metallfläche mit verdünnter Salpetersäure erzeugt.

Nach der Gruppierung der Mineralien zu Gesteinen unterscheiden wir je nach dem Vorwiegen und Zurücktreten des Eisens in ihnen Eisen- und Steinmeteore. Die ersteren bestehen fast ganz aus gediegenem Eisen mit einem wechselnden Gehalt von Nickel, ferner von etwas Phosphor, Schwefel und oft auch Kohle. Einzelne zeigen ein durch das ganze Stück sich gleichbleibendes Gefüge, so daß die gesamte Masse das Fragment eines einzigen Kristallindividuums zu sein scheint. In der Regel jedoch besteht das Meteoreisen aus dünnen, nebeneinander gelagerten Lamellen von Eisen, welche nach kristallographischen Gesetzen angeordnet sind und sich durch etwas verschiedenen Gehalt an Nickel, Phosphor und Schwefel unterscheiden. Der Nickelgehalt dieser Eisenlegierungen ist oft 10 Prozent, im Mittel beträgt er 4 bis 20 Prozent und steigt selten über 50 Prozent.

Wenn man ein Meteoreisen durchschneidet und die polierte Oberfläche mit verdünnter Salpetersäure anätzt, so kommt bei ihm eine eigentümliche Lamellenanordnung zutage, welche in allen Fällen Meteoreisen von irdischem Eisen unterscheidet, welch letzteres in seltenen Fällen auch gediegen in Ergußgesteinen eingebettet aus großen Erdtiefen zutage gefördert wird, wie beispielsweise der von Nordenskjöld an der Nordwestküste von Grönland bei Ovifak im Jahre 1870 gefundene 25000 kg schwere Block aus gediegenem Eisen beweist. Diese für das Meteoreisen charakteristischen Figuren werden nach dem Wiener Gelehrten Widmannstätten, der sie an dem am 26. Mai 1751 in Hraschina bei Agram in Kroatien gefallenen Eisenmeteoriten zuerst feststellte, als Widmannstättensche Figuren bezeichnet. Sie beweisen einen regelmäßigen schaligen Aufbau aus nickelreicheren und nickelärmeren Eisenmassen, indem die nickelreicheren Partien von der Säure weniger leicht angegriffen werden als die nickelärmeren. Dabei sind die bald dickeren, bald ganz feinen Schalenflächen oktaedrisch angeordnet. Ausnahmsweise fehlt der schalige Aufbau, dabei zeigt sich das Nickeleisen in Hexaedern kristallisiert und man spricht dann von Neumannschen Figuren.

An dieses Meteoreisen knüpft sich nicht nur ein geologisches, sondern auch ein großes kulturgeschichtliches Interesse. Weil nämlich das Eisen, das heute als Werkzeugmaterial eine so hervorragende Rolle spielt, sich fast nie an der Erdoberfläche gediegen findet und seine Gewinnung aus den Erzen für in der Kultur niedrig stehende Menschen zu schwierig ist, so ist es nicht zu verwundern, daß diese frühe schon das ihnen mancherorts zu Gebote stehende und meist leicht durch Aushämmern zu bearbeitende Meteoreisen zu einfachen Werkzeugen verarbeiteten, bevor sie noch andere Metalle als Werkzeugmaterial verwendeten. Wie die Eskimos und andere primitive Stämme sich Pfeilspitzen und Messerklingen aus Meteoreisen durch Beklopfen mit Steinen anfertigten, so findet man daraus hergestellte Werkzeuge auch unter den Grabbeigaben mancher prähistorischer Gräber. Meist aber ist das Meteoreisen in ihnen in kleinen Klümpchen vorhanden, die man als Amulette zu Zauberzwecken um den Hals trug.

Von den 670 der Fallzeit nach bekannten Meteorsteinfällen sind nur zwölf Eisenmeteorite, alle übrigen dagegen Steinmeteorite. Dies beweist, daß, obschon wir den Eisenmeteoriten oft genug an der Erdoberfläche begegnen, weil sie eben der Verwitterung viel besser widerstehen als die Steinmeteorite, diese letzteren doch weitaus

die häufigsten in den Weltentrümmern sind. Abgesehen von der leichteren Zersetzung sind sie eben, auch wenn man sie nicht hat fallen sehen oder wenn sie nicht bald nach dem Falle aufgehoben werden, in der Regel von irdischen Gesteinen, wegen der überaus großen Ähnlichkeit mit ihnen, nicht zu unterscheiden.

Der Übergang von den ganz aus Nickeleisen, das bis zu 98 Prozent der Masse ausmachen kann, bestehenden Eisenmeteoriten oder Holo-

Fig. 33. Querschnitt durch einen in Franceville (N.-A.) gefallenen Eisenmeteoriten. Die geschliffene und mit Säure geätzte Oberfläche zeigt die Widmannstättenschen Figuren des Nickeleisens in feinster Anordnung. (Ward Conley Coll.)

sideriten zu den Asideriten oder Sporadosideriten, in denen die schweren Metalle spärlich sind oder ganz fehlen, bilden die Mesosiderite oder Pallasite, so genannt nach dem weitaus bekanntesten Repräsentanten dieses Typus, dem vom deutschen Naturforscher Pallas am Ende des 18. Jahrhunders in der Nähe von Kraßnojarsk, nicht weit von den Ufern des Jenissei in Sibirien, gefundenen „Pallaseisen." Diesen 635 kg schweren, in seiner Form sehr unregelmäßigen und abgeplatteten Stein, der von den Umwohnern als ein vom Himmel ge-

Digitized by Google

fallenes Heiligtum verehrt wurde, brachte Pallas im Jahre 1772 von seiner asiatischen Forschungsreise nach St. Petersburg. Ihn untersuchte und benützte dann Chladni zu seiner epochemachenden Arbeit über die Zusammensetzung und Herkunft der Meteorite.

In diesen Mesosideriten, d. h. zur Hälfte aus Eisen bestehenden Meteoriten, den Pallasiten, bildet das Nickeleisen zwar noch die Grundmasse, aber dieses meist grobzellige octaedrische Meteoreisen umschließt polyedrische Kristalle eines als Olivin bezeichneten Magnesiasilikates, das leichter als jenes herauswittert und so diesen Pallasiten, wenn sie längere Zeit der Verwitterung ausgesetzt waren, ein löcheriges Aussehen verleiht.

In den Sporadosideriten ist das Nickeleisen zerstreut in Form von kleineren und größeren Kugeln in eine steinige Grundmasse eingebettet. In dieser Gruppe unterscheidet man nach dem Franzosen Daubrée drei Unterabteilungen. Die erste ist diejenige der Polysiderite, in welchen noch verhältnismäßig viel Eisen in Kugeln von Schrotkorn- bis zu Nußgröße vorhanden ist. Die zweite ist die der Oligosiderite mit relativ wenig Eisen, und die letzte die der Kryptosiderite, in denen das Eisen in so feinen Körnern vorhanden ist, daß man es lange nicht bemerkte, bis es schließlich der berühmte Mineralog Gustav Rose doch darin nachwies. Sie bilden den eigentlichen Übergang zu den Asideriten, welche kein Eisen oder doch so wenig davon enthalten, daß es im Aufbau vollkommen zurücktritt. Je aufmerksamer man nämlich die Meteorite auf die Anwesenheit von metallischem Eisen untersucht, um so seltener werden die Fälle, wo das Eisen ganz fehlt. Zu den ganz eisenfreien Steinmeteoriten gehören eigentlich nur die Kohlenmeteorite, von denen man überhaupt nur vier und zwar sämtliche aus neuerer Zeit kennt. Der erste derselben fiel bei Alais in Frankreich 1806, der zweite zu Cold-Bokkeveld im Kapland 1838, der dritte zu Kaaba bei Debreczin in Ungarn 1857 und der vierte zu Orgueil in Frankreich 1864. Über den Fall des letzteren, der am 14. Mai abends 8 Uhr erfolgte, wird berichtet, daß das Meteor in glänzendstem Licht erschien und an vielen Orten gesehen wurde. Es glich einer vom Himmel herabschießenden Rakete und etwa drei Minuten nachher hörte man ein donnerartiges Getöse, worauf Steine in Menge auf einen Flächenraum von etwa 30 qkm herabfielen. Da nun der Schall 333 m in der Sekunde zurücklegt, so ergibt die einfache Rechnung, daß die Explosion in etwa 60 km Höhe stattfand. Mehr als 20 der herabgefallenen Steine konnten gefunden werden,

von denen der größte 2 kg schwer war. Sie waren erdig-bröckelig und enthielten einen bedeutenden Anteil einer schwarzen Verbindung von Kohle mit Sauerstoff und Wasserstoff, wie sie bei uns auf der Erde in ähnlicher Weise bei der Zersetzung von organischen Stoffen unter Luftabschluß entsteht. Jedenfalls wären solche Kohlenmeteorite öfters zu beobachten, wenn sie nicht wesentlich aus kohliger Substanz beständen, welche eben bei ihrem Fluge durch die Lufthülle unseres Planeten ganz verzehrt und zu Kohlensäure verbrannt wird.

Die Steinmeteorite bestehen vorwiegend aus kieselsauren Magnesiumverbindungen und haben ziemliche Ähnlichkeit mit manchen unserer vulkanischen Ergußgesteine. Der häufigste Typus derselben sind die Chondrite, die aus einer mehr oder weniger feinkörnigen, oft einem vulkanischen Tuffe ähnelnden grauen oder schwärzlichen Grundmasse bestehen, in welcher sogenannte Chondren, d. h. kleine Kügelchen von exzentrisch-strahligem Olivin oder Bronzit liegen. Auch diese letzteren sind Magnesiasilikate, die sich in irdischen vulkanischen Gesteinen sehr zahlreich finden. Wir haben sie bei der Besprechung des spezifischen Gewichtes der Erde bereits erwähnt, als wir feststellten, daß die Olivingesteine zu den allerschwersten Eruptivgesteinen gehören und weit schwerer sind als die Granite, Porphyre und sogar Basalte und aus sehr großer Erdtiefe an die Oberfläche gedrungen sein müssen. Wie der Quarz für die kieselsäurereichsten und dadurch spezifisch leichtesten Ergußgesteine, wie Granit, Porphyr, Diorit, Trachyt, Phonolith und Andesit charakteristisch ist, so ist im Gegenteil der Olivin für die kieselsäureärmsten und zugleich spezifisch schwersten Erstarrungsgesteine wie die verschiedenen Basalte bezeichnend. Während man diese Chondrite bisher in irdischen Ergußgesteinen noch nicht angetroffen hat, so ist dies dagegen beim Eukrit der Fall, der aus Anorthit, einem kieselsäurearmen Feldspat, und Augit zusammengesetzt ist und ganz identisch unter den irdischen vulkanischen Gesteinen wie beispielsweise in einer Lava aus Island sich wiederfindet. Auch der in den Meteoriten vorkommende Chassignit, d. h. das Mineral von Chassigny, das aus Olivinfels mit eingesprengtem Chromeisenstein besteht, ist von weitverbreiteten irdischen Olivingesteinen kaum zu unterscheiden.

Da so zahlreiche Meteorite aus erkaltetem Eruptivgestein bestehen, kann es uns nicht wundern, daß gelegentlich auch Diamanten, deren Vorkommen an dieses Gestein gebunden ist, in demselben gefunden wurden. So hat man in Südamerika einen großen, ziemlich eisenreichen Steinmeteoriten mit einer Anzahl um

ihn herum zerstreuter Trümmer gefunden, in denen sich durchweg eigenartige kleine Partikelchen fanden, die man dem Aussehen nach für Diamanten halten mußte. Um hierüber Gewißheit zu erlangen, wurden Bruchstücke des Gesteins an Henri Moissan in Paris, den bedeutendsten Forscher auf dem Gebiete der Diamantbildung, gesandt. Dieser, dem es bekanntlich schon vor etwa zehn Jahren gelang, Diamanten, allerdings von mikroskopischer Kleinheit, künstlich herzustellen, fand als Resultat seiner eingehenden Untersuchungen, daß die betreffenden in den Meteorstein eingesprengten Partikelchen in der Tat echte Diamanten, wenn auch in der bräunlichen bis schwarzen Varietät sind, wie sie beispielsweise in Südafrika häufig vorkommt und, da sie als Schmuckstein wertlos ist, zu technischen Zwecken Verwendung findet.

Zu den Steinmeteoriten, bei welchen nebenbei bemerkt, Lockyer, wenn er sie im Lichtbogen glühte, ein Spektrum fand, das mit demjenigen der Sonne außerordentlich große Ähnlichkeit zeigt, gehören auch die Moldauite, die in Böhmen, Mähren, dann in Ostindien und über ganz Südaustralien oft in großer Menge gefunden werden. Es sind dies eigentümliche glasartige Körper, die aus Kalifeldspat und Quarz zusammengesetzt sind und unseren jüngeren glasigen Ergußgesteinen wie Obsidian nahestehen, nur daß sie kein Wasser enthalten, wodurch sie sich als meteorische d. h. von außerhalb der Erde stammende Erstarrungsgesteine dokumentieren. Infolge ihrer relativ leichten Schmelzbarkeit sind sie an ihrer ganzen Oberfläche durch oberflächliche Schmelzung von Rillen und Furchen umgeben. Vielleicht stammen diese Weltentrümmer von einem in eine elliptische Bahn geschlagenen Kometen, der der Sonne zu nahe kommend teilweise verglaste und dann, zu einer Meteorwolke aufgelöst, am Ende der Tertiärzeit — denn nur in solchen Gesteinsschichten hat man diese Glasmeteore gefunden — bei einem Zusammenstoß mit der Erde diese eigentümlichen Meteore auf ihr zurückließ. Jedenfalls sind damals Teile von ihm, in die Erdatmosphäre hineingelangend, durch die plötzliche Erwärmung zerborsten und haben an den betreffenden Orten, wo sie sehr zahlreich gefunden wurden, zu einem Regen von Moldauiten Veranlassung gegeben. Bemerkenswert ist, daß einige dieser Moldauite infolge plötzlicher Abkühlung eine solche Oberflächenspannung besitzen, daß sie wie die als Bolognesertropfen bekannten Glasperlen bei leichter Verletzung ihrer Oberfläche explodieren und zu Staub zerfallen.

In geschichtlicher Zeit hat man erst zweimal den Moldauiten verwandte Meteore vom Himmel fallen sehen. Der erste solche war der am

17. Mai 1855 abends 6 Uhr auf dem Gute Igast in Livland gefallene Meteorit, dessen Analyse einen enormen Reichtum an Kieselsäure und Tonerde ergab, während Kali und besonders Kalk nur sehr spärlich in ihm vertreten waren. Der zweite fiel am 14. August 1855 gegen $2^1/_2$ Uhr nachmittags bei Halle in Gegenwart mehrerer Zeugen als ein schlackenartiger scharfer Stein, der noch sehr heiß war, als er aus dem Boden, in den er nur 10 cm tief eindrang, hervorgeholt wurde.

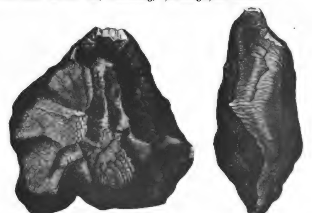


Fig. 34. Einer der mehreren Hundert beim Steinregen von Stannern in Mähren am 22. Mai 1808 gefallenen Steinmeteorite von der Brustfläche und der Seite in $^1/_3$ natürlicher Größe. Der Stein ist mit einer dünnen, schwarzglänzenden, glasigen Rinde überzogen, die sehr deutlich die ausstrahlenden Schmelzgrübchen zeigt. (Wiener Hofmuseum.)

Alle Meteoriten, die aus einer leicht schmelzbaren Masse bestehen, sind infolge der ungeheuren Geschwindigkeit, mit welcher sie in die Atmosphäre eindringen und sie dabei vor sich her zusammendrücken, von einer dünnen, starkglänzenden glasigen Schmelzrinde überzogen, welche an der strahlig auseinanderlaufenden Rindendrift die Vorderseite beim Fluge erkennen läßt. An den Rindensäumen bemerkt man nicht selten stehengebliebene d. h. nicht vollends abgeschmolzene Tropfen. Anderseits kann aber auch die Oberfläche durch Ausschmelzunq und Verblasung von leichter schmelzbaren Partien höckerig oder löcherig werden, ebenso durch Ausfallen von Chondren. Die durch die erodierende Wirkung heißer Gase entstandenen Schmelzgrübchen bezeichnet man als Piezoglypten. Durch die plötzliche Erwärmung in der Atmosphäre wird

Digitized by Google

zwar die Oberfläche glühend, aber die Hitze hat nicht Zeit genug um tief ins Innere zu dringen, wo noch die überaus niedrige Temperatur des Weltraums herrscht. Infolgedessen entstehen sehr hohe Spannungen, welche zum Auseinanderbersten der meisten Meteorite führten. Wiewohl nun diese Stücke sehr heiß auf die Erde fallen, ist es doch wenigstens bei einer Gelegenheit, nämlich beim Steinfalle von Quenggouk in Hinterindien, möglich gewesen nachzuweisen, daß ein solcher soeben geplatzter Meteorstein so kalt war, daß man ihn nicht anfassen konnte, ohne ein taubes Gefühl von Kälte dabei zu empfinden.

Die in Form von Meteoren aus den fernsten Himmelsräumen zu uns gelangenden Weltentrümmer beweisen uns, daß nicht nur, wie die Kraft, so auch der Stoff durch das ganze Weltall derselbe ist, sondern auch auf andern Planeten um feste Kerne von Schwermetallen sich spezifisch leichtere Krusten von Erstarrungsgesteinen legen. Sind dann diese Weltkörper so weit abgekühlt, daß organisches Leben auf ihnen bestehen kann, so nimmt es auch auf ihnen durch Urzeugung seinen Ursprung. Daß ein solches Leben auch auf andern Welten bestehen muß, das beweist vor allem das Vorkommen von Kohle, die auf unserm Planeten nur dort zu finden ist, wo organische Stoffe unter Luftabschluß verkohlen. Sichere Spuren von Überresten außerirdischer Lebewesen haben sich indessen in den wenigen zu unserer Kenntnis gelangten Kohlemeteoriten nicht finden lassen, wie auch in ihnen bis jetzt fossilführende, aus Wasser abgesetzte Gesteine wie Kalk, Sandstein und Ton nicht nachgewiesen werden konnten, obschon Hahn durch mikroskopische Untersuchung von Chondriten, die doch sichtbarlich aus Schmelzfluß erstarrt sind und keine Spuren von irgendwelchen Lebewesen enthalten können, Spuren verschiedener solcher, wie meerbewohnender Schwämme, Korallen und Haarsterne, welche niedere Tiere sogar mit irdischen große Ähnlichkeit haben sollen, nachweisen zu können glaubte.

Ebensowenig ist die von verschiedenen Naturforschern aufgestellte Hypothese aufrecht zu erhalten, daß die Lebenskeime nicht auf jedem zur Aufnahme von Leben fortgeschrittenen Erdkörper selbständig durch uns vorläufig unbekannte chemisch-physikalische Prozesse entstehen, sondern von Sonnensystem zu Sonnensystem durch die Meteore verbreitet würden, die beim Anstreifen an bewohnten Welten sich mit den in deren Luft suspendierten Keimen beladen und diese gelegentlich weitertragen sollen.

Bei der Kälte des Weltraumes von — 273 ° C., in welcher diese Keime Äonen hindurch verweilen müßten, bis sie endlich einmal zum Leben erwachen und in Wirksamkeit treten könnten, würden sie schon längst vorher abgestorben sein.

Das Leben bedarf keiner solcher unzuverlässiger Abenteurer, wie die Meteore es sind, um von Gestirn zu Gestirn ausgestreut zu werden. Es entsteht immer, wenn die Bedingungen dazu da sind und erlischt wiederum, wenn die Daseinsmöglichkeit aufhört. In Weltentrümmern aber kann weder Leben sein noch auch übermittelt werden; diese sind und bleiben tot bis sie in eine Sonne stürzen und damit den Kreislauf des Sternendaseins aufs neue beginnen.

VI.

Die Erstarrungsgesteine der Erde.

Das Studium der Entstehung und Lagerung der Gesteine, welche die oberflächlichste Kruste der Erde, soweit sie uns zugänglich ist, bilden, ist verhälnismäßig erst spät in wissenschaftliche Bahnen gelenkt worden. Der Begründer der sich damit beschäftigenden Wissenschaft, der Geologie, ist Gottlob Abraham Werner, geboren am 25. September 1750 zu Wehrau in der Lausitz und gestorben am 30. Juni 1817 in Dresden, der berühmte Lehrer an der Freiberger Bergakademie, dessen Schule sich über die ganze Welt verbreitete, und dem es beschieden war, zwei Größen wie Alexander von Humboldt und Leopold von Buch in seine Wissenschaft einzuführen. Er zuerst hat den Gesteinen präzise Bezeichnungen gegeben und ihre Lagerung und zeitliche Aufeinanderfolge genau studiert, aber auch unglücklicherweise angenommen, daß alle auf dem uranfänglichen oder „Grund-Gebirge" stehenden Gesteine sich als „Flözgebirge" im Wasser niedergeschlagen hätten, wobei die ursprünglich wagrechten Schichten nachträglich teilweise durch lokale Einstürze gestört worden seien und nun teilweise stark geneigt oder aufgerichtet lägen. Irgend welche größere oder allgemeinere Störungen kämen nach ihm nicht vor und auch die vulkanische Tätigkeit hielt er für eine auf die allerneueste Zeit beschränkte, rein lokale Erscheinung, die in früheren Zeiten nicht aufgetreten sei. Infolgedessen war er genötigt, die jüngeren Eruptivgesteine der Tertiärzeit, vor allem den Basalt auch für einen Absatz aus dem Wasser und zwar als jüngstes Flözgebirge zu erklären, das einst in einer ununterbrochenen Decke alle Festländer bedeckt habe und erst allmählich durch Verwitterung und nachträgliche Abtragung durch das fließende Wasser bis auf einzelne in verschiedenen Gegenden auftretende Kuppen entfernt worden sei. In strenger Konsequenz seiner

Lehre mußte er auch annehmen, daß in den verschiedenen Abschnitten der Erdgeschichte das Wasser in unerklärlicher Weise angestiegen und dann wieder gesunken sei, und daß alle Gebirge, wie die Bodengestaltung überhaupt ihre Entstehung und Form lediglich der ausnagenden Wirkung des Wassers verdanken.

Diesem sogenannten „Neptunismus“ stellte schon der älteste Alpengeologe, de Saussure von Genf, zahlreiche Tatsachen in den Alpen, besonders in der Mont Blancgruppe, entgegen, wonach eine ruhige Entwicklung der oberflächlichsten Gesteinsrinde der Erde, wie sie Werner annahm, ganz unmöglich eine allgemeinere Geltung beanspruchen könne und vielfach Zerreißungen und Aufbiegungen der Schichten besonders im Gebirge vorkommen. Dann haben Voigt in Deutschland und Hutton und sein Schüler in Schottland von 1788 an gezeigt, daß der Basalt ein eruptives Gestein sei, das durch Spalten in der Erdkruste aus der Tiefe nach der Oberfläche dringe, hier erstarre und die Nebengesteine durch seine Wärme chemisch verändere d. h. röste. Die Huttonisten erweiterten diese ihre Anschauung bald dahin, daß überhaupt alle Massengesteine, vom Granit bis zum Basalt, aus Schmelzfluß erstarrt seien, daß ferner die kristallinischen Schiefer durch die innere Erdwärme veränderte normale Schichtgesteine seien und die Meeresabsätze überhaupt nur durch die Einwirkung der Erdwärme zu Kalk, Sandstein, Tonschiefer usw. erstarren könnten. Auch die Entstehung der Gebirge schrieben sie nur der Erhebung und Aufrichtung durch von unten wirkende vulkanische Kräfte zu. Hutton war auch der erste, der von der ungeheuren Länge der geologischen Zeiträume eine Ahnung hatte, während man bis dahin auf den mosaischen Schöpfungsbericht sich stützend das Alter der Erde auf etwa 6000 Jahre gesetzt hatte.

Dieser von Hutton und seinen Schülern, worunter die bedeutendsten Playfair und James Hall waren, aufgestellte „Vulkanismus“ stellte sich nun in Gegensatz zu Werners Neptunismus und beherrschte für mehrere Jahrzehnte die geologischen Forschungen. Wenn auch diese Lehre einige schwere Irrtümer, wie die Notwendigkeit der innern Erdwärme für die Erhärtung der Schlamm- und Sandabsätze zu Gestein und die Annahme der Gebirgshebung durch vukanische Kräfte in sich schloß, so bedeutete sie doch einen wesentlichen Fortschritt gegenüber Werners Lehren, und es konnte nicht fehlen, daß schließlich dessen bedeutendste Schüler, wie Leopold von Buch und Alexander von Humboldt, nach dem Tode ihres Lehrers sich teilweise auf die Seite der Vulkanisten schlugen und vor allem für die eruptive Natur des Basaltes eintraten,

von der sie sich auf ihren Reisen in Italien und in den erloschenen Vulkangebieten Frankreichs, der Auvergne, vollkommen überzeugt hatten.

Dem anspruchslosen Ingenieur William Smith ist es zu verdanken, daß dann am Anfange des 19. Jahrhunderts den in den geschichteten Gesteinen enthaltenen Versteinerungen eine vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt wurde und für die verschiedenen Gesteinshorizonte sogenannte Leitfossilien angegeben wurden, mit deren Hilfe gleichalterige Schichten sich jederzeit, ganz unabhängig von der Gesteinsbeschaffenheit, bestimmen ließen. Diese von ihm begonnene Stratigraphie und Paläontologie setzte auf dem Festlande besonders der große, am 23. August 1769 in dem damals württembergischen Städtchen Montpellier geborene Georges Cuvier fort, der vom Jahre 1800 bis zu seinem am 13. Mai 1832 erfolgten Tode am Collège de France lehrte und der Zoologie eine neue Richtung gab, wie auch die vergleichende Anatomie zur Wissenschaft erhob. Neben ihm wirkte von 1822 bis 1847 als Professor der Geologie und Chefingenieur der Bergwerke Frankreichs, Alexandre Brogniart, der besonders für die weitere Ausbildung der Geologie bahnbrechend war.

Als das Ergebnis seiner Studien stellte Cuvier die Lehre auf, daß jeder geologische Zeitabschnitt seine besondere, ihm eigentümliche Tier- und Pflanzenwelt gehabt habe, welche jeweilen von katastrophenartigen Erdumwälzungen ausgerottet worden seien, um einer völligen Neuschöpfung Platz zu machen. Die letzte dieser Katastrophen sei die Eiszeit gewesen, nach welcher erst der Mensch erschaffen wurde. Vor der Eiszeit habe es noch keinen solchen gegeben und seine Knochen seien ein Leitfossil für die gegenwärtige Schöpfung.

In Deutschland war bis 1853 Leopold von Buch tätig. Ihm, der auf weiten Reisen eine große geologische Erfahrung gesammelt hatte, verdankt man vor allem eine Neugestaltung der Lehre von den Vulkanen. Aber auch er hielt noch an manchen falschen Anschauungen fest. So glaubte er noch an die Hebung von Gebirgen durch nicht an die Oberfläche gelangende Ergüsse aus der Tiefe und sprach auch die Ansicht aus, daß die Laven- und Tuffmassen, welche man an den Vulkanen in aufgerichteter Stellung sieht, diese Anordnung durch die erhebende Kraft der Ausbrüche erhalten hätten. Diese Irrtümer deckten in der Folge Poulett Scrope und Charles Lyell in England und Friedrich Hofmann in Deutschland auf, indem sie zeigten, daß die vulkanischen Kräfte bei der Aufrichtung der Gebirge durchaus unbeteiligt sind und die Vulkankegel sich in der Regel lediglich durch Aufschüttung

von Lava und Aschenmassen unter einem natürlichen Böschungswinkel bilden.

Trotz aller Gegenbeweise hielt sich aber die vulkanische Hebungstheorie der Gebirge noch längere Zeit. So hat noch der verdiente Geologe **Elie de Beaumont**, der von 1832 bis 1874 am Collège de France dozierte und als Chefingenieur der Bergwerke Frankreichs tätig war, bis

Fig. 35. Die aus Andesit bestehende, teilweise abgetragene vulkanische Gebirgsgruppe von Bukit Assam auf Südsumatra (nach Photogramm von Dr. August Tobler).

in seine späteren Jahre an der Annahme festgehalten, daß die Gebirge sich durch eine Hebung von unten **mit einem Rucke** bilden, und sah in diesen Vorgängen eben die Katastrophen, welche im Sinne von Cuvier am Schlusse einer jeden geologischen Formation die ganze Tier- und Pflanzenwelt vernichtet haben sollten.

Eine wesentlich neue Richtung erhielt die Forschung durch die genaue Untersuchung derjenigen geologischen Vorgänge und Veränderungen, welche heute unter unsern Augen vor sich gehen. Besonders bahnbrechend wirkten da **Hoff** und **Lyell**, welche erst klarlegten, daß **alle Veränderungen, welche die Erdoberfläche im Laufe der geologischen Entwicklung durchmachte, durch dieselben Kräfte und Vorgänge, welche wir heute noch an ihr tätig sehen, bewirkt werden, daß alles das Ergebnis einer ruhigen und allmäh-**

Digitized by Google

lichen Entwicklung ist, welche nur durch die überaus lange Dauer gewaltige Umgestaltungen in jeder Beziehung hervorgebracht hat.

So ist nach und nach durch viele Irrtümer hindurch die heutige Geologie als strenge Wissenschaft hervorgegangen, deren Forschungsergebnisse uns interessante Blicke in das geheime Walten der Natur tun lassen und uns erklären, wie das heutige Antlitz der Erde entstanden ist.

Den Grundstock der festen Erdrinde bilden die aus feuerflüssigem Zustande durch allmähliche Abkühlung erstarrten sogenannten Massengesteine, die, im Gegensatz zu den aus dem Wasser niedergeschlagenen Sedimentgesteinen der späteren erdgeschichtlichen Entwicklung, keinerlei Schichtung oder Wechsellagerung ungleicher Gesteinsarten zeigen und selbstverständlich weder Tier- noch Pflanzenreste in sich einschließen können. Sie sind in ihrer ganzen Masse gleichartig wie aus einem Guß und zeigen auch in den verschiedenen Bildungen eine große Einförmigkeit, indem sie sämtlich Silikate d. h. kieselsaure Verbindungen mit Tonerde, Kalium, Natrium, Eisen, Kalk und Bittererde oder Magnesia sind. Um ihre Entstehungsart durch Erstarrung infolge Abkühlung einst feurigflüssiger Massen zu betonen, wollen wir sie im Folgenden lieber statt Massen- als Erstarrungsgesteine bezeichnen. Wie sie sich einst vor Urzeiten bei der ersten Krustenbildung der Erde ausbildeten, so entstehen sie heute noch an manchen Punkten der Erde, wo feurigflüssige Massen, die wir als Magma bezeichnen, aus der Tiefe hervorbrechen.

Diese Eruptivgesteine sind zweierlei Art. So spricht man zunächst von plutonischen Gesteinen und bezeichnet damit solche, die bei ihrem Nachobendringen nicht an die Erdoberfläche gelangten, sondern unterwegs in Klüften und Hohlräumen stecken blieben. Füllen sie dort in der Tiefe Mulden aus, so spricht man von Tiefengesteinen, lagern sie sich dagegen in Gängen ab, so bezeichnet man sie als Ganggesteine. Die Gänge nennt man auch Apophysen. Das betreffende Magma ist unter Gesteinsbelastung in der Tiefe erstarrt. Deshalb ist die Struktur des betreffenden Erstarrungsgesteines nicht nur eine massige, d. h. nach allen Richtungen, auch von oben nach unten her gleichmäßig ausgebildete, im Gegensatz zur plattigen der aus wässrigen Lösungen abgesetzten Sedimente, sondern auch eine körnige oder kristallinische — je nachdem es rascher oder langsamer abgekühlt wurde, und zwar sind die in ihm ausgebildeten Kristallindividuen um so größer und schöner ausgebildet, je langsamer die Abkühlung und die dadurch bedingte Erstarrung vor sich ging.

Beispiele solcher Tiefengesteine, welche nachträglich durch die Erosion der sie bedeckenden Schichten an die Erdoberfläche gelangten und uns so zur Kenntnis kamen, sind die zuerst im nordamerikanischen Staate Utah entdeckten gewaltigen Intrusionen, d. h. Eindringlinge in die Erdrinde oder Lakkolithen, wörtlich Grubensteine, wie sie ihr erster Beschreiber Gilbert genannt hat. Dort liegen am rechten Ufer des Rio Colorado in einem unbewohnten und noch selten von Menschen betretenen Berglande fünf bis über 3000 m hohe, von einander durch niedrige Pässe getrennte Berge, die Henry Mountains, die nichts anderes sind als in verschiedenen Niveaus, von der oberen Kohlenformation bis zur oberen Kreide, zwischen Sandsteinen abgelagerte, bei einem Durchmesser von 7½ km bis 2000 m mächtige Trachytmassen, welche die sie bedeckenden geschichteten Gesteine kuppelartig über sich emporwölbten. Diese Verhältnisse wurden erst klar, als die Kuppeln durch die Erosion teils angeschnitten, teils auch ganz entfernt wurden. In Colorado, Neu-Mexiko und in der südpatagonischen Kordillere findet man ähnliche Lakkolithen. An letzterem Orte, dem von Hautal beschriebenen Cerro Payne, hat eine mächtige Granitintrusion der oberen Kreide angehörende Schichtgesteine, in die sie eingedrungen ist, emporgewölbt, und schon aus der Ferne hebt sich der Mantel der dunkleren Kreideschichten scharf vom hellen Granitkern ab.

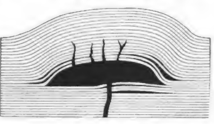


Fig. 36. Schematische Darstellung eines Lakkolithen. Der in die Schichtgesteine eingedrungene Erguß von glühendem Magma hat die obersten Schichten der Erdrinde nicht zu durchbrechen vermocht, sondern nur aufgewölbt, wobei in der Decke allerlei Klüfte und Sprünge entstanden, die ebenfalls vom Magma ausgefüllt wurden.

Aber auch Europa hat seine Lakkolithen. So beschrieb Friedrich Weber eine 13 km lange schmale Linse eines syenitischen Gesteins, die sich als Intrusion in vorcarbonischer Zeit in den Granit des östlichen Aarmassivs hineinpreßte. Die carbonische Gebirgsfaltung, von der später noch eingehender die Rede sein wird, brachte sodann Nachschübe namentlich von kieselsäurereichen Graniten. An diesen erstarrten Magmamassen hat dann die tertiäre Hauptfaltung des Alpengebiets allerlei mechanische Veränderungen, namentlich eine Druckschieferung hervorgebracht.

Digitized by Google

Ein durch Wegschaffen der überlagernden Sedimentschichten sichtbar gewordener Lakkolith ist auch der Brocken im Harz, von dem Lübecke es wahrscheinlich gemacht hat, daß ein dreimaliger Erguß feuerflüssigen Granites überlagernde alte Schichtgesteine in die Höhe hob und durch ihre Glut die anliegenden Partien derselben brannte, was man als Kontaktmetamorphose bezeichnet. Durch letztere ist dort beispielsweise unterkarbonische Grauwacke in Hornfels verwandelt worden.

Der Ries bei Nördlingen, wo ein Einbruchskessel die Juraschichten so stark verschoben und umgelagert hat, daß teilweise junges auf altem liegt und die Kalke seltsam durch Trümmer älterer Gesteinsmassen durchsetzt werden, ohne daß man Eruptivmassen an die Oberfläche gedrungen fand oder Spalten nachweisen konnte, an denen der Boden abgesunken wäre, ist neuerdings durch Bohrungen, welche die Berliner Akademie der Wissenschaften unter der Leitung des Berliner Geologen Branco vornehmen ließ, nachgewiesen worden, daß hier ebenfalls eine in der Erdkruste emporgepreßte Intrusion Granit in eine hohe Lage brachte und die darüber liegenden Sedimentgesteine der Jurazeit störte und überschob, ohne daß irgendwelche Spaltenbildungen zu erkennen sind.

Auch im westlichen Teile der euganeischen Hügel südlich von Padua hat sich eine Intrusion, die zwischen mesozoische Schichtgesteine erfolgte, nachweisen lassen. Hier tritt in tiefem Niveau eine mächtige Masse von Trachyten auf, welche von Schichten des oberen Jura und der unteren Kreide unmittelbar überlagert wird. Dabei ist der Jurakalk, soweit er den Trachyt berührt, durch Hitzeeinwirkung stark verändert und hat kristallinische Struktur angenommen. Später hat sich hier über dem Lakkolithen ein echter Vulkan erhoben und seine zu Tuff erhärtete Asche über das ganze Gebiet ausgeworfen.

Diese Erscheinung führt uns von den im ganzen eigentlich doch recht selten zur Beobachtung gelangenden plutonischen oder Tiefengesteinen zu den eigentlichen vulkanischen Gesteinen, bei welchen das aus der Erdtiefe durch Spalten dringende glühendflüssige Magma an die Erdoberfläche gelangte und hier erstarrte. Auch ihre Struktur ist massig und je nach der langsameren oder schnelleren Abkühlung porphyrisch oder glasig. Bei rascher Abkühlung können sich im Magma keine Kristalle ausscheiden und wir haben dann das, was wir als glasige Struktur bezeichnen. Tritt aber die Erstarrung und Abkühlung langsam ein, so können doch wenigstens diejenigen Bestandteile, die einen niedrigeren Schmelzpunkt haben, noch auskristallisieren, während die übrigen, die einen höheren Schmelzpunkt besitzen, noch keine Gelegenheit dazu fanden

und glasig erstarrten. Man spricht dann von **porphyrischer Struktur.** Ändern sich die Erstarrungsbedingungen, indem beispielsweise Magma, das unterwegs stecken blieb und in welchem Kristalle sich auszuscheiden begannen, bei Nachlaß des Druckes der über ihm lagernden Schichten vollends an die Oberfläche gelangte und hier rasch erstarrte, so finden wir in ihm eine Modifikation der porphyrischen Struktur, indem in der glasigen Grundmasse teilweise angefressene und in Auflösung

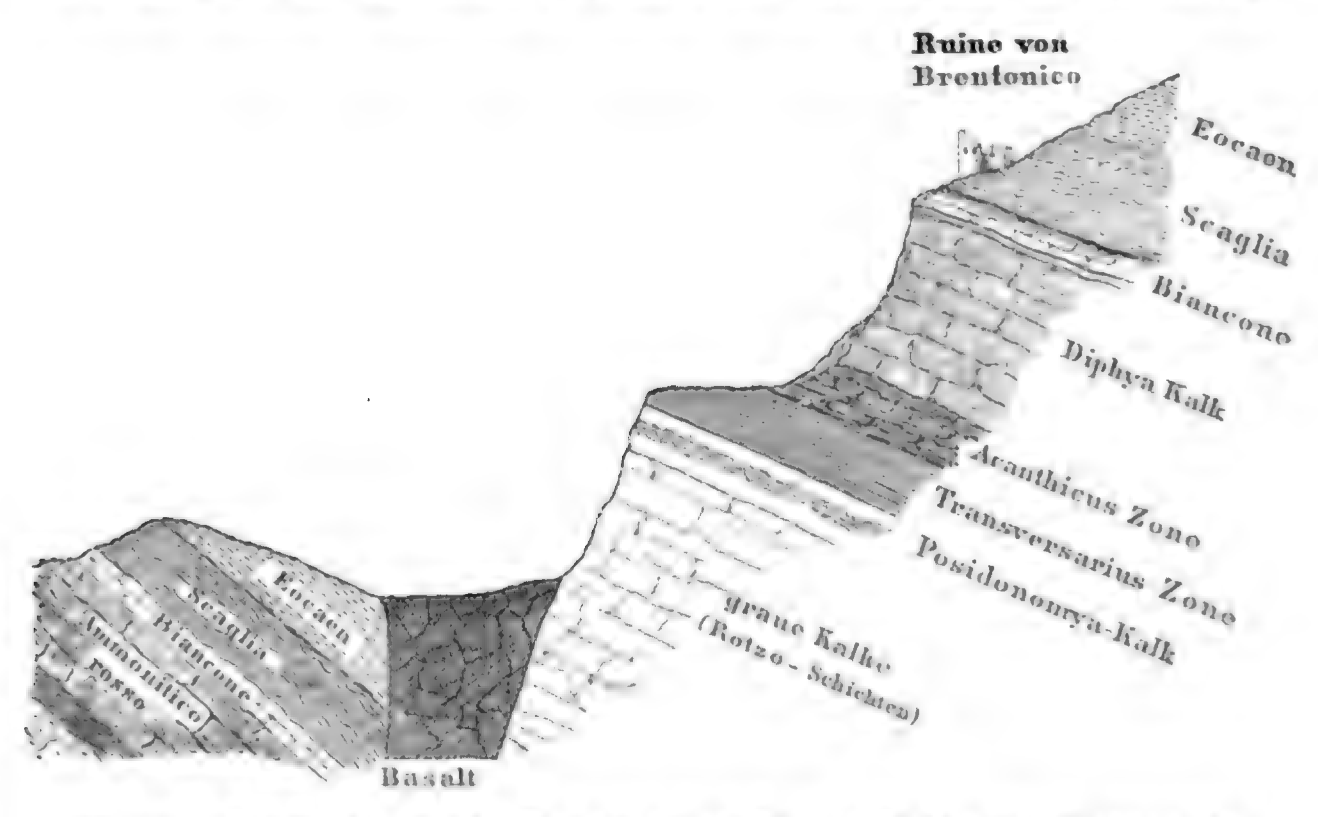


Fig. 37. **Profil durch die Gesteine des Monte Baldo bei Brentonico.** An einer Verwerfungsspalte ist ein Basalterguß erfolgt, der bis auf die Schlotausfüllung abgetragen wurde. Der Betrag — etwa 150 m —, um welchen die links davon gelegene Erdscholle an der rechts befindlichen verworfen wurde, d. h. in die Tiefe rutschte, ist am Höhenunterschiede der Eocän- und der darunter liegenden oberen Juraschichten ersichtlich, die einst eine vollkommen ebene Fläche bildeten. (Nach E. Fraas, Szenerie der Alpen.)

begriffene Kristalle eine vorübergehende erneute Zufuhr von Wärme dokumentieren. So gibt es alle möglichen Übergänge der einen Struktur in die andere.

Der Typus eines Erstarrungsgesteines von körnig-kristallinischer Struktur ist der **Granit**, der ein Gemenge von Quarz, Glimmer und Feldspat darstellt. In ihm kann das Korn sehr wechseln. So gibt es Granite von fast dicht erscheinendem Gefüge, aber auch solche mit vielen zentimetergroßen Bestandteilen. Eine körnig-strahlige Struktur

zeigen hauptsächlich die Diabase, in denen zwischen den strahligen Feldspaten körnige Augite sich finden.

Alle Ergußgesteine sind Verbindungen von Sauerstoff mit einer beschränkten Zahl von Elementen, unter denen die Kieselsäure vorherrschend ist und an Menge zwischen 40 und 80 Prozent schwankt. Diese Kieselsäure ist eine Verbindung von 1 Atom Silicium mit 2 Atomen Sauerstoff, in reiner Form als Quarz, kristallisiert als Bergkristall, amorph als Opal auftretend. Je kieselsäurereicher, d. h. je saurer nun ein Gestein ist, um so heller gefärbt und um so spezifisch leichter ist es, je kieselsäureärmer, d. h. je basischer aber, um so dunkler gefärbt und schwerer erscheint es. Die Verbindungen von Kieselsäure mit Basen bezeichnet man als kieselsaure Salze oder Silikate; es sind dies meist keine einfachen, sondern zusammengesetzte Salze. So bezeichnet man die Verbindungen der Kieselsäure mit Natrium, Kalium und Tonerde oder Aluminiumoxyd (so heißt man die Verbindung von 2 Atomen Aluminium mit 3 Atomen Sauerstoff) als Feldspate, Nephelin und Leucit, diejenigen mit Magnesium und Tonerde als Glimmer, diejenigen mit Magnesium, Calcium, Eisen und Tonerde als Augit und Hornblende und endlich diejenigen mit Magnesium und Eisen als Olivin.

Beim Erstarren kristallisieren die kieselsäurearmen, d. h. basischen, dunkel gefärbten und schweren Gemengteile zuerst aus und zwar zuerst die Erze, welche stets an Quarz gebunden sind. Nach ihnen kristallisieren der Reihe nach aus: Olivin, Glimmer, Augit und Hornblende, die alle dunkelgefärbt und spezifisch schwer sind. Ihnen folgen die helleren und weniger schweren Feldspate, Nephelin und Leucit und zuletzt der hellste, d. h. ganz weiße und leichteste von allen, die reine Kieselsäure, d. h. der Quarz. Dabei haben die ersten Ausscheidungsprodukte des erstarrenden Magmas reichlich Platz schöne Kristalle auszubilden. Je später aber in der Kristallisationsfolge die Kristalle erscheinen, um so beengter wird der Raum und um so mehr bilden sich Körner als verkrüppelte Kristalle aus. So kann in den Erstarrungsgesteinen der zuletzt auskristallisierende Quarz als Ausfüllmasse zwischen den vorher Kristallgestalt annehmenden Verbindungen infolge von Raumbeengung nur in Form von Körnern auftreten und nie wird man, beispielsweise im Granit, seine säulenförmigen Kristalle, wohl aber schöne große Glimmertafeln finden können.

Betrachten wir beispielsweise einen Granit, wie er in ausgedehntem Maße bei unseren Bauten verwendet wird, näher, so erblicken

wir als zuerst ausgeschiedene, spezifisch schwerste Bestandteile die lebhaft glänzenden Tafeln von Glimmer, und zwar dunklen Magnesiaglimmer und helleren Kaliglimmer, die beide beim Verwittern gewöhnlich eine gelbe Farbe annehmen und dann wie Goldblättchen aussehen können, weshalb das Volk in solchen Fällen von Katzengold spricht. Dann kommen als an zweiter Stelle ausgeschieden wie die ‚Speckbrocken in der Wurst' die auch noch gut ausgebildeten weißlichen und rötlichen Feldspatkristalle, und zwar vorwiegend meist rötlicher Kalifeldspat oder Orthoklas, seltener weißlicher Natronkalkfeldspat oder Oligoklas. Als Ausfüllmasse dazwischen sind zuletzt erst die sehr harten, lichtgrauen, unbestimmt eckigen Körner von Quarz und andern zufälligen Gemengteilen ausgeschieden worden. Unter dem Mikroskop erblickt man im Quarz vielfach rundliche bis schlauchförmige Höhlungen mit Flüssigkeitseinschlüssen und Gasbläschen, bisweilen auch winzige Salzkriställchen. Die eingeschlossene Flüssigkeit besteht aus reinem Wasser, aus einer Kochsalzlösung oder aus flüssiger Kohlensäure, welch letztere darauf hinweist, daß die Erstarrung dieses Gesteines unter sehr hohem Druck stattgefunden haben muß, sonst wäre die in der Masse enthaltene Kohlensäure beim Erkalten entwichen. Die Kohlensäure ist ja bekanntlich ein Gas, das nur unter dem sehr hohen Druck von 36 Atmosphären bei einer Temperatur von 0^0 flüssig wird. Und in den einst feuerflüssigen Magmen, in welchen die Kohlensäure enthalten war, muß der Druck, welcher dieses Gas in der warmen Erdtiefe verflüssigte, ein sehr viel größerer gewesen sein. Manche Granite durchsetzen das übrige Gestein gangartig wie etwa Ausbrüche rezenter Lava. Sie sind hier offenbar als geschmolzene Massen in Verwerfungsspalten der Erdrinde aus der Tiefe emporgedrungen und haben bei ihrem Aufsteigen manchmal kleinere und größere Brocken vom anstehenden Fels, den sie durchbrachen, mitgerissen.

Da die Zusammensetzung des Granites eine sehr verschiedene sein kann, gibt es nun von ihm eine Menge Unterarten. So ist z. B. der seinem Alter nach postkulmische, d. h. in der späteren Carbonzeit zwischen die Sedimentschichten der jüngeren Kohlenformation ergossene Granit der Vogesen und des Schwarzwaldes ein sogenannter Biotitgranit, weil er statt des gewöhnlich vorhandenen Kaliglimmers einen Magnesiaglimmer, den Biotit, enthält. Pegmatit nennt man ihn, wenn er großkörnig ist und einen silberweißen Kaliglimmer mit häufig darin eingeschlossenem Turmalin besitzt. Der Granitit dagegen ist vorherrschend rot mit rotem Orthoklas, weißem Oligoklas, wenig braunem

Magnesiaglimmer und Quarz. Der in den Zentralalpen sehr verbreitete Protogin ist ein außerordentlich stark gepreßter und durch Druck veränderter Granit mit grünem Glimmer und Talk. Infolge des gewaltigen Druckes, dem er bei der Alpenfaltung ausgesetzt war, wurde er nicht nur zerrissen, sondern auch chemisch zersetzt, so daß aus ihm als Neubildungen jene für ihn charakteristischen Mineralien entstunden. Diese Protogine bilden infolge der ungeheuren Druckwirkung, der sie nicht nur bei der Alpenfaltung, sondern teilweise schon in der jüngeren Carbonzeit bei der Aufrichtung des sogenannten variscischen Gebirges ausgesetzt waren, geschichtete, meist dickbankige Lager von Charakter und Zusammensetzung der über ihnen vorkommenden kristallinischen Schiefer, von denen man erst in neuester Zeit erkannt hat, daß sie keine Erstarrungsgesteine, wie der Granit, sondern durch sogenannte Dynamometamorphose oder Druck veränderte Sedimentgesteine der mesozoischen Zeit, hauptsächlich der Trias, sind, also einer sehr viel jüngeren Zeit als jene angehören.

Ebenfalls durch Gebirgsdruck, wenn auch in anderer Weise, veränderte Granite, die ein noch stärkeres schieferiges Gefüge haben, bezeichnet man als Gneis. Dieser allgemein vorkommende Gneis ist ein wesentliches Glied der den Sedimentformationen vorausgehenden archäischen oder laurentischen Formation und zeigt in den Alpen eine Mächtigkeit von 10000 bis 20000 m, in der Oberpfalz dagegen bis 30000 m. Wie der Granit gibt er bei der Verwitterung einen sehr fruchtbaren Boden, der zu Ansiedelungen von seiten des Menschen einlädt.

Der Syenit, der seinen Namen von der oberägyptischen Stadt Syene, dem jetzigen Assuan, hat, wo die alten Ägypter ihr sattrot gefärbtes und eine glänzende Politur annehmendes Bildsteinmaterial vorzugsweise bezogen, ist ein Erstarrungsgestein wie Granit, nur mit fehlendem Quarz. Es ist ein körnig-kristallinisches Gemenge von Hornblende und Feldspat, und zwar mit Orthoklas, seltener mit Oligoklas gemischt, daneben besitzt er auch Glimmer und geht durch Hinzukommen von Quarz in Syenitgranit oder Hornblendegranit über. Bisweilen wird er auch porphyrartig und faserig, in welch letzterem Falle man ihn als Syenitgneis bezeichnet.

Der Diorit ist ebenfalls ein altes Eruptivgestein, das selten wie die vorigen Rücken oder Kuppen bildet, sondern meist nur in Gängen auftritt. Es ist ein grob bis feinkörniges Gemenge von Hornblende und Natronfeldspat oder Plagioklas, dem bisweilen Oligoklas beigemischt ist. Der Diabas dagegen ist ein kleinkristallinisches körniges Gemenge

aus Plagioklas und Augit, zum Teil auch von porphyrischer Struktur und dann als Diabasporphyr und zwar Labrador- oder Augitporphyr bezeichnet, der Gänge und Decken in älteren Sedimentgesteinen bildet. Der Gabbro ist ebenfalls ein körnig-kristallinisches Gemenge eines augitartigen grünlichen Minerals, Diallag genannt, mit Plagioklas und zwar einer als Labradorit bezeichneten Abart des Natronfeldspats, oft in Verbindung mit Serpentin, einer meist dunkelgrünen wasserhaltigen Verbindung von kieselsaurer Magnesia mit etwas Eisenoxydul.

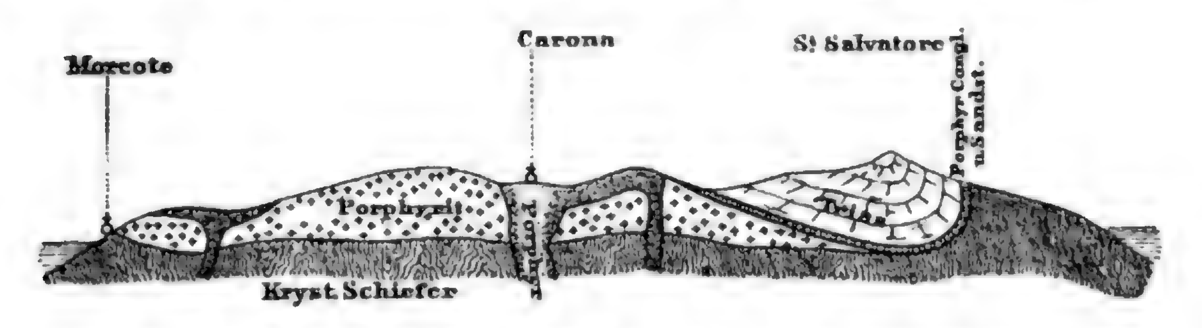


Fig. 38. Der Eruptivherd von Lugano. Auf steilgefaltetem Untergrund, der von dem in der mittleren Carbonzeit aufgefalteten und wieder abgetragenen sog. variscischen Gebirge herrührt, liegt eine Decke von zur Permzeit ergossenem Quarzporphyr, von deren Abtragung die Konglomerate und Sandsteine herrühren, über welche dann die nachträglich bei der Bildung der Alpen zur Miocänzeit gefalteten Triasschichten abgelagert wurden, aus welchen der bekannte Monte S. Salvatore (909 m) besteht. (Nach Fraas.)

Zu diesen älteren Eruptivgesteinen gehört auch der Porphyr, in welchem in einer dichten rotbraunen, auch grünen, gelblichen oder grauen Grundmasse größere Kristalle mit vorwiegendem Feldspatgehalt eingebettet liegen. Beim Quarzporphyr ist die Grundmasse Orthoklas und Quarz, und die darin als Kristalle eingebetteten Einsprenglinge sind Quarz, Orthoklas, seltener ein als Sanidin bezeichneter glasiger Feldspat, Oligoklas und Glimmer. Der in seiner chemischen Zusammensetzung dem Granit sehr ähnliche Porphyr erscheint wie jener in Gängen, Decken und Strömen, besonders zwischen den ältesten Sedimentgesteinen der sogenannten paläozoischen Formation, und wurde damals, vorzugsweise in der Steinkohlenzeit und dem darauf folgenden Rotliegenden oder Perm durch vulkanische Tätigkeit an die Oberfläche der Erde ergossen. In derselben geologischen Epoche, die weit über 100 Millionen Jahre von der Gegenwart zurückliegt, wurden auch den vorigen verwandte Melaphyre als massige, meist sehr feinkörnige, fast dicht erscheinende Silikatgesteine von schwarzer, grünlich-schwarzer, roter

oder brauner Farbe, oft mit porphyrischer Struktur in Gängen, Kuppen und Decken an Bruchstellen der Erdrinde zutage gefördert.

Die in jüngeren geologischen Perioden an die Oberfläche gebrachten und dann erstarrten Eruptivgesteine sehen im allgemeinen wesentlich anders als die älteren Ergußgesteine aus. Während diese eine viel größere allgemeine Verwandlung durch den Gebirgsdruck und allerlei chemische, sie zersetzende Einflüsse durchgemacht haben, sind jene, die jüngeren, zumeist frischer, glashell und haben nicht die jenen vielfach anhaftenden staubigen Trübungen, die von der beginnenden Zersetzung des Feldspates, besonders des Kalifeldspates oder Orthoklas mit dadurch bedingter Ausscheidung von Kaolin oder Porzellanerde herrühren und das bezeichnende Aussehen der Feldspate im Granit bedingen. Bei diesen jüngeren Ergußgesteinen treten die eisenhaltigen Mineralien in Form schwarzer Körnchen auf, welche, wenn sie reichlich vorhanden sind, eine schwarze Färbung des ganzen Gesteines hervorrufen. Je eisenhaltiger und deshalb spezifisch schwerer also solche Erstarrungsgesteine sind, um so dunkler gefärbt erscheinen sie.

Während noch in der paläozoischen Zeit, besonders in der jüngeren Carbon- und der Permformation auf die ganz Mitteleuropa in ein mächtiges Faltengebirge legende sogenannte variscische Gebirgsfaltung mächtige vulkanische Ausbrüche von Granit, Porphyr und Melaphyr stattfanden, ist während der Trias- und Jurazeit bei uns in Mitteleuropa nur eine schwache eruptive Tätigkeit nachzuweisen. Erst in der jüngsten Kreidezeit und dann besonders im mittleren Tertiär, im Miocän, sind als Begleiterscheinungen von neuen Bewegungen in der Erdrinde, die zur Bildung von mächtigen Gebirgen führten, wiederum reiche vulkanische Ergüsse vor sich gegangen, die eine wesentliche andere petrographische Beschaffenheit zeigen. Bei ihnen ist die porphyrische und glasige Struktur die vorherrschende, und zwar sind sie in der Regel um so reicher an Kieselsäure, aus je älteren geologischen Perioden sie stammen. Früher waren die kieselsäurereichen, wie Granit und Syenit, die vorwiegenden Eruptivgesteine, so wie es Basalt und Andesit in den letztverflossenen geologischen Perioden wurden, denen noch quarzärmere Laven in der Gegenwart gefolgt sind. Aber auch unter den Laven eines und desselben Berges finden wir oft größere Unterschiede des Kieselsäuregehaltes. So ist die Lava der Somma, die der Vesuv in vorgeschichtlicher Zeit ergossen hat, kieselsäurereicher als die heutige Vesuvlava. Seltener werfen Vulkane, wie beispielsweise der Hekla auf Island, neben kieselsäurereichen auch kieselsäurearme Laven aus, welch letztere aus

größeren Tiefen stammen, dunkel gefärbt und schwerer sind. Es sind also in Berücksichtigung dieser Tatsache die Lavaergüsse seit der paläozoischen Zeit bis zur Gegenwart aus immer tieferen, spezifisch schwereren Gebieten des Erdinnern herausgeflossen. Dabei mußte zum jeweiligen Heraufschieben des Magmas eine um so größere Arbeitsleistung bewältigt werden.

Aus je tieferen Schichten der Erde nämlich das vulkanische Magma stammt, das zur Bildung eines bestimmten Erstarrungsgesteines

Fig. 39. Riff aus vulkanischem Tuffsandstein am Ufer des Enimflusses in Südsumatra. Am Riff ist ein mit Reisern gefüllter und mit einem Wasserrad versehener Einbaum, eine malaiische Vorrichtung zum Fischfang, angebunden. (Nach Photogramm von Dr. A. Tobler.)

Veranlassung gab, um so dunkler gefärbt und schwerer ist es durch Beimischung von spezifisch schweren Metallverbindungen, und zwar hauptsächlich Eisen, um so ärmer ist es dafür an Kieselsäure, Kalium und Natrium und um so reicher an Basen wie Tonerde, Eisenoxydul, Kalk und Magnesia. Diese infolge ihrer relativen Armut an Kieselsäure als basisch bezeichneten jüngeren Erstarrungsgesteine, im Gegensatz zu den kieselsäurereichen oder sauren Eruptivgesteinen so genannt, die zugleich dunkel gefärbt und spezifisch schwer sind, bezeichnet man als Basalte. Aus je oberflächlicheren Schichten dagegen das Erstarrungsgestein herrührt, um so mehr enthält es leichte und helle Verbindungen wie Kiesel-

Digitized by Google

säure d. h. Quarz, Kali und Natron, und um so weniger schwere dunkle Verbindungen wie Tonerde, Eisenoxydul, Kalk und Magnesia. Diese hellen, leichten, sauren Erstarrungsgesteine nennt man Trachyte. Alle jüngeren Ergußgesteine sind nun entweder Normalbasalte und Normaltrachyte oder Mischungen beider in verschiedenen Verhältnissen, indem basaltische Massen beim Aufsteigen aus der Tiefe trachytisches Material mit sich rissen. Diejenigen Fälle, in welchen die Produkte desselben vulkanischen Ergusses nicht in ihrer ganzen Ausdehnung gleichartig, sondern in verschiedenen Partien verschiedenartig zusammengesetzt sind, hat man einfach so zu erklären, daß die Mengung der beiderseitigen Materialien keine gleichmäßige war und daß in der betreffenden geschmolzenen Masse sich „Schlieren" von verschiedenartigem Charakter nicht vollständig durchdrungen haben.

Die leichteren, helleren, kieselsäurereicheren Trachyte sind zähflüssig und wenig geneigt, über große Flächen zu fließen. Sie bleiben dafür massig und kompakt beisammen. Sie bildeten als die leichteren Elemente die äußerste Kugelschale der primitiven Erde, während die schwereren, dunkleren, kieselsäurearmen Basalte sich mehr in die Tiefe der sich bildenden Erdrinde setzten und bei ihrem Ausbrechen an die Oberfläche leichtflüssig und stark geneigt sind, über große Flächen zu fließen, so weite Gebiete mit einer Decke überziehend. So hat einst ein gewaltiger Basaltlavastrom auf Island ungeheuer große Landstrecken, die teilweise wegerodiert oder vom Meere verschlungen sind, in einer Ausdehnung von vielen hunderten von qkm mit einer solchen Decke überzogen, während Trachytausbrüche kürzere, breitere und stärker gewölbte Formen bilden. Poulett Scrope hat beispielsweise gegen 100 m hohe glockenförmige Kuppen von der Insel Bourbon abgebildet, die nur aus solcher zähflüssiger Trachytlava denkbar sind. In ihrer äußeren Erscheinung gleichen sie vollkommen den von uns später abgebildeten hohen Kegeln von Schlammvulkanen, sind aber natürlich nicht wie diese weich, sondern sehr hart und schwer verwitterbar.

Unter den Auswurfsprodukten der heute noch tätigen Vulkane, von welchen im nächsten Abschnitt eingehend die Rede sein wird, zeigen die dünnflüssigsten basaltischen Lavaströme immer noch die zähe Konsistenz von Honig und fließen auf steiler Unterlage sehr rasch nach abwärts. So fuhr ein solcher Lavastrom, den der Vesuv am 12. August 1805 ausstieß, „wie ein Hauch am steilen Abhange des Kegels herab" und legte in den ersten 14 Minuten eine Strecke von 5½ km zurück. Ja

von einem Strome des Mauna Loa auf Hawai wird berichtet, daß er in 2 Stunden etwa 23 km weit geflossen sei. Das sind aber seltene Ausnahmen; denn die Lava, welche Scrope im Jahre 1822 in 15 Minuten vom Kraterrande des Vesuvs bis zum Fuße des Kegels herabkommen sah, kann noch als abnorm schnell in ihrer Bewegung gelten. Am Ätna bezeichnet man eine Lava noch als schnell, die zur Zurücklegung von 1 km 2 bis 3 Stunden gebraucht. Gewöhnlich aber ist die Fortbewegung, besonders bei zähen Trachytlaven, sehr viel langsamer und wird bald so träge, daß sie in 1 Stunde oft nicht einmal 1 m beträgt.

Frisch sich ergießende Lava ist weißglühend und behält auch diese Weißglut, die einer Temperatur von rund 2000° C. entspricht, im Innern sehr lange Zeit bei, wenn auch die äußersten Schichten sich sehr rasch abkühlen. Dabei überzieht sich der Strom sehr bald mit einer festen Decke dunkler, starrer, schlackiger Massen, die dann tragfähig genug sind, um vom Menschen begangen zu werden. Die erhärtete Kruste bildet geradezu einen aus Schlacken bestehenden Schlauch, durch welchen die flüssige, weißglühende Masse sich weiter wälzt. Auch die Stirne bedeckt sich in derselben Weise mit einer schwarzen, erstarrten Rinde, und indem der Strom vorrückt, drückt er diese Kruste zu Boden und läuft über dieselbe hinweg, indem sich stetsfort neue Schlacken am Vorderrande bilden. So kommt es, daß, abgesehen von den Fällen sehr schnellen Vorrückens, der Strom sich immer auf einer Unterlage von schon erstarrter Lava hinbewegt, die durch das fortwährende Abwerfen und Hinunterschieben der erstarrten Stirnmassen entsteht. Das Aussehen eines solchen Lavastromes an seiner Vorderseite vergleicht Scrope mit einem ungeheuren Haufen großer Kohlenstücke, welche durch die Wirkung eines langsamen Nachdrängens von hinten übereinander fortrollen. Dabei hört man in einem fort ein krachendes, metallisches Geräusch, das durch die Zusammenziehung, das Zerspringen und die Reibung der einzelnen Teile gegen einander erzeugt wird.

Indem sich in der erstarrten Decke der Lavaströme zahlreiche Risse bilden, durch welche oft noch flüssige Lava herausquillt und dann die einzelnen Blöcke und Schollen, in welche die ursprüngliche Decke sich zerklüftet, wild übereinander geschoben werden, entstehen weite Felder von sogenannter Blocklava. Zerfällt die Decke nicht in Schollen, sondern bildet sie eine zusammenhängende Masse, deren Oberfläche die seltsamsten gekröseartigen Windungen und Auftreibungen, die sich in mannigfaltiger Weise übereinander schieben, bildet, sospricht man von Gekröselava. Diese letztere ist gerade den Besuchern des Vesuvs sehr wohl

bekannt und hat sich auch wieder beim letzten Ausbruch in reicher Menge gebildet.

Da nun, wie wir früher schon gesehen haben, die schmelzflüssigen Massen große Mengen von Gasen, und zwar hauptsächlich von Wasser-

Fig. 40. Die beinahe vollständig mit ausgeworfener Asche zugeschüttete Vesuvmündung kurz vor der letzten Explosion vom 4. April 1906. Gegen die Basis des Aschenkegels ein hoher Spratzkegel, der dadurch gebildet wurde, daß die stürmisch aus der Fumarole hervorbrechenden Dämpfe Fetzen noch flüssiger Lava mit heraufrissen, die nach kurzem Fluge durch die Luft wieder zur Ausbruchsstelle zurückfielen und sich darum herum zu einem hohen Schornsteine aufbauten. Im Vordergrunde typische Gekröselava. — Sobald ein Vulkan, wie hier der Vesuv, seine Mündung fast vollständig durch Auswurfmassen verlegt hat, so ist sicher zu erwarten, daß er bald einmal durch einen Ausbruch sich wieder Luft verschafft. So geschah es auch hier.

dampf und Kohlensäure enthalten, so entweichen diese beim allmählichen Erkalten des Magmas aus einzelnen Spalten und Öffnungen der Oberfläche als sogenannte Fumarolen. Dabei werden von den kräftig hervorbrechenden Dämpfen Fetzen noch flüssiger Lava mit heraufgerissen, die in die Luft fliegen und wieder zur Mündung, zu welcher sie herauskamen, herabfallen, um welche sie sich bisweilen zu einer Art Schornsteinen anhäufen. Außer Wasserdampf und Kohlen-

Digitized by Google

säure entströmen den Laven, und mehr noch den Kratern, die sie aussenden, auch Dämpfe von Salzsäure, Salmiak, Eisenchlorid, schwefliger Säure u. a. m., die dann teilweise beim Abkühlen Sublimationsprodukte wie Kochsalz, Salmiak, Eisenchlorid und andere Metallchloride abscheiden. So können sich besonders an den Kraterwänden brennend gelbe Krusten von Eisenchlorid niederschlagen, die von Unkundigen irrig meist für Schwefel gehalten werden. Oft zersetzt sich das Eisenchlorid mit Wasser-

Fig. 41. Hohler, teilweise eingestürzter Schlackenkegel auf einem Lavastrom in Oregon N.-A. an der Stelle einer ehemaligen Fumarole.

dampf zu Salzsäure und Eisenoxyd und letzteres setzt sich dann in Form von zierlichen Eisenglanzkriställchen ab. Von anderen Chloriden schwerer Metalle sind als Sublimationsprodukte hauptsächlich Blei- und Kupferchlorid zu nennen, deren Bildung auf diesem Wege uns zeigt, wie in älteren Ergußgesteinen manche Erzgänge entstanden sind. Auf die gleiche Weise können sich aber auch Feldspat, Augit und Glimmer bilden.

Die Zeit, welche ein Lavastrom braucht, um völlig zu erkalten, hängt von verschiedenen Umständen ab. Manchmal geht dies verhältnismäßig sehr rasch, im Laufe von wenigen Monaten vor sich. Oft aber erhält sich jahrelang ganz nahe an der Oberfläche eines Stromes eine

Digitized by Google

so hohe Temperatur, daß ein in eine Spalte gestecktes Holzscheit sofort zu brennen anfängt. So bleiben viele Lavaströme jahrelang in Fumarolentätigkeit. Besonders wird sehr lange Zeit hindurch von erkaltenden Vulkanherden Kohlensäure in Gasform ausgeschieden. Solche Kohlensäureausströmungen bezeichnet man als Mofetten. Die bekannteste derselben ist die Hundsgrotte im Gebiet der Phlegräischen Felder bei Neapel, wo dieses Gas, das bedeutend schwerer ist als die atmosphärische Luft, sich am Boden ausbreitet und alle kleinen Tiere durch Ersticken rasch tötet, während der Mensch, der über die Kohlensäureschicht hinausragt, ungestraft diese Grotte betreten kann. Eine noch viel mächtigere Ausströmung von Kohlensäure haben wir im altvulkanischen Gebiete der Eifel am Niederrhein, wo beispielsweise zu Burgbrohl täglich etwa 25000 Hektoliter derselben als Gas aus der Erde dringen.

Außer der Kohlensäure entweichen solchen im Erlöschen begriffenen vulkanischen Erstarrungsherden natürlich auch noch andere Dämpfe, wie Schwefelwasserstoff, der sich durch seinen Geruch nach faulen Eiern verrät, und die beißenden Exhalationen von schwefliger Säure, die sich auch in Form von Schwefel niederschlagen können. Nach der Solfatara bei Pozzuoli, die in diesem Stadium ist, nennt man Vulkanherde, die, im Absterben begriffen, solche Schwefelverbindungen aushauchen, Solfataren.

Geht die Abkühlung noch weiter, so beschränkt sich die letzte Äußerung eines ehemaligen Vulkanherdes im Ausstoßen von kohlensauren Wässern, die bei uns als Tafelgetränk beliebt sind, und besonders von warmen Mineralwässern, die allerlei Salze aufgelöst enthalten und oft recht heiß dem Boden entquellen. Ist der Gerolsteiner Sprudel in dem Vulkangebiet der Eifel ein Beispiel für die ersteren, so ist als solches der letzteren etwa der Sprudel von Karlsbad in Böhmen zu nennen. Diese Mineralquelle besitzt eine Temperatur von 73,2° C. und enthält neben freier und halb gebundener Kohlensäure sieben verschiedene kohlensaure Salze, worunter besonders kohlensaures Natrium, dann große Mengen von schwefelsaurem Natrium oder Glaubersalz, worauf gerade die abführende Wirkung dieses Mineralwassers beruht, etwas schwefelsaures Kalium, ziemliche Mengen Chlornatrium oder Kochsalz, endlich sehr geringe Mengen von Fluornatrium, borsaurem Natrium, phosphorsaurem Calcium, Aluminiumoxyd und Kieselsäure. Wenn auch im ganzen in 10000 Teilen Wasser nur 54,9 feste Bestandteile sind, macht das mit der Zeit gleichwohl sehr viel aus. So hat man berechnet, daß der Karlsbader Sprudel jährlich fast 6 Millionen kg fester

Bestandteile in seinem Wasser aus der granitenen Tiefe emporbefördert und daß sich infolgedessen seit der Zeit, da wir die Quelle kennen, schon Hohlräume von etwa 1 Million cbkm gebildet haben müßten, wovon dort allerdings nichts zu merken ist. Gegen eine Speisung des Sprudels durch von der Oberfläche in große Tiefen hinabgesickertes Wasser, wie man dies früher annahm, spricht schon der Umstand, daß die Niederschläge und die Jahreszeiten keinerlei Einfluß auf seine Stärke ausüben und daß seine hohe Temperatur von 73,2° C. bei Entstehung durch Grund- und Niederschlagwasser einfach unerklärlich wäre. Rechnet man auch, daß auf je 100 m, die man hier ins Erdinnere eindringt, eine Wärmezunahme von 3° C. kommt, so müßte das Karlsbader Sprudelwasser aus 2540 m Tiefe stammen, während das Erzgebirge nur etwa 1000 m Höhe hat und Karlsbad selbst etwa 300 m über Normalnull liegt.

Fig. 42. Schildförmige Kieselsinterterrasse des Pulkit im Yellowstonepark, mit mehreren heißen, teilweise seeartigen Quellen, von denen sie gebildet wurden. Im Hintergrund sind weitere Geisirgebiete am darüber schwebenden Dampfe zu erkennen.

Nun hat der große Wiener Geologe Eduard Süß zuerst nachgewiesen, daß die gewaltigen hier zutage tretenden heißen Wassermassen mit den mitgeführten verschiedenen Salzen und der Kohlensäure von sich abkühlenden Erstarrungsgesteinen ausgeschieden werden müssen. Er bezeichnet dieses zum erstenmal an die Erdoberfläche gelangende, von Erstarrungsgesteinen ausgeschiedene Wasser als „juvenil", im Gegensatz zum vadosen, seit langem schon an der Erdoberfläche zirkulierenden Wasser. Die ganze Masse des heißen Karlsbader Sprudelwassers, wie auch anderer aus erkaltenden vulkanischen Herden stammender heißer Mineralquellen, ist juveniles Wasser, dem sich, wenn überhaupt, nur unbedeutende Mengen vadosen Oberflächenwassers beimengen können. Wir können also in diesem Falle geradezu von „Wasservulkanen" sprechen.

Digitized by Google

Denselben Ursachen verdanken die periodisch ausspritzenden heißen Quellen, die **Geisirs**, wie man sie nach einer isländischen Bezeichnung, die „tobende Quellen" bedeutet, nennt, ihre Tätigkeit. Ihr Vorkommen ist streng an solche vulkanische Gebiete gebunden, wo aus der Tiefe aus erstarrendem Magma entweichende heiße Dämpfe und Wasser durch Spalten an die Oberfläche treten. Auch dieses Wasser ist stark salzhaltig und enthält dank seiner großen Hitze neben kohlensaurem Kalk hauptsächlich viel in der Kälte überaus schwerlösliche Kieselsäure, welche es dann beim Abkühlen fallen läßt und in ganzen dicken **Sinterkrusten** ausscheidet. Sind diese heißen Quellen an der Spitze von Abhängen gelegen, wie beispielsweise manche im weltberühmten nordamerikanischen Nationalpark des Yellowstoneriver oder, wie dies früher der Fall war, in Neuseeland, so entstehen übereinander liegende terrassierte Sinterbecken, die in der Regel einen prächtigen bunten Anblick gewähren.

Fig. 43. Terrassenförmig aufgebaute, in den buntesten Farben leuchtende Kieselsinterbecken aus der Nähe des Exzelsiorgeisirs im Yellowstonepark.

Diese Sinterbildung geht aber überaus langsam vor sich und man hat an einer solchen Quelle durch genaue Messungen festgestellt, daß der Betrag des Absatzes in acht Jahren nur 0,3 mm betrug, was aufs Jahr berechnet nur 0,037 mm ausmacht. Nun wird die Sinterbildung durch gewisse vorzüglich an die Wärme angepaßte Algen, also mikroskopisch kleine Wasserpflänzchen, die sich mit Vorliebe in den Becken mit heißem Wasser ansiedeln, um ein bedeutendes vermehrt, indem durch ihre Mitwirkung der Sinterabsatz eines Jahres bis 1¹/₄ mm betragen kann. Gleichzeitig färben diese Algen die an sich weißen oder opalfarbenen Sinterschichten in den buntesten Farbentönen, so daß wir von

Digitized by Google

den heißeren zu den kühleren Wasserschichten alle Übergänge vom tiefen Blau des reinen Wassers zu Rot, Violett, Gelb und Weiß bemerken. Im Wasser von 85 bis 70° C. gedeihen vorzugsweise rote Arten, bis 50° C. violette, dann gelbe, weiterhin weiße und erst im ganz kalten Wasser grüne Arten, die an der Oberfläche der Absätze leben und diese entsprechend färben. Solche wärmeliebende grüne Algen kennt man auch aus Vulkangebieten Europas. So hat Goldieri im Jahre 1899 in den Fumarolen der Solfatara von Pozzuoli grüne Algen als schleimigen Überzug der Felsen inmitten der heißen Dämpfe gefunden, welche von einem sauren Wasser durchtränkt waren, das eine ziemliche Menge freier Schwefelsäure aufweist. Letztere bildet sich durch Oxydation der schwefligen Säure und des Schwefelwasserstoffs, welche zusammen mit Wasserdampf von den Fumarolen ausgestoßen werden. Während die gewöhnlichen Algen nur in einem alkalischen Medium gedeihen und bei Spuren von Schwefelsäure im Wasser absterben, ertragen diese wärmeliebenden Algen merkwürdigerweise bis zu 5 pro Mille Schwefelsäure, ja sterben sogar in gewöhnlichem Wasser ab, ebenso wenn dasselbe kühl ist. Ihr Existenzvermögen hat sich also ganz einer warmen Umgebung angepaßt und sie gedeihen am besten bei Temperaturen zwischen 40° und 60° C. Im Gegensatz zu den gewöhnlichen Algen widerstehen sie sogar der Kochtemperatur. Auch auf der Insel Ischia hat Ehrenberg Algen gefunden, die bei 85° C. leben und dabei vortrefflich gedeihen.

Fig. 44. Der Old faithfullgeisir im Yellowstonepark in Tätigkeit.

Auf dem Hochplateau des Yellowstoneparkes im Felsengebirge, wo während der Eiszeit ein letzter Ausbruch von Laven stattfand, wie man an Gletschermoränen sehen kann, die von ihnen bedeckt sind, gibt es heute noch über 4000 heiße Quellen und Dampfausbrüche und etwa 100 echte Geisirs, die an ihren Mündungen meist mächtige Absätze und Kamine von teils kieseligem, teils kalkigem Sinter ausgeschieden haben.

Einige davon scheinen an Großartigkeit der Eruptionen selbst die gewaltigen Springquellen Islands und Neuseelands zu übertreffen, indem einzelne ihre Strahlen bis zu 67 m emporschleudern. Zu den mächtigsten gehört der Riese (giant), der einen 3,5 m hohen und 8 m im Durchmesser haltenden Auswurfskegel besitzt, aus welchem in längeren Zwischenräumen 30 bis 67 m hohe Strahlen heißen Wassers zischend emporfahren. Die ihm benachbarte Riesin gerät ungefähr alle 22 Stunden auf 20 Minuten in Tätigkeit, wobei die Hauptmasse des Wassers etwa 24 m hoch steigt. Der Bienenstock (beehive) hat einen kleinen, sehr regelmäßigen Konus, aus dem ungefähr einmal täglich eine mächtige Wassersäule bis zu 66 m Höhe hervorbricht, während der Alte Getreue (old faithfull) — so genannt, weil er mit wunderbarer Regelmäßigkeit, auf die man sich fast auf die Minute verlassen kann, seine heißen Wasser springen läßt — seinen starken Strahl 44 m hoch schleudert.

Fig. 45. Castlegeisir mit Sinterkegel an seiner Mündung, von verschiedenen heißen Quellen mit besonderen Sinterbecken umgeben.

Neben den hier aufgezählten treiben noch zahlreiche andere ihr merkwürdiges Spiel und tragen dazu bei, den Yellowstonepark zu einem der Weltwunder zu gestalten.

Um einen solchen Geisir, wie man deren neuerdings auch auf deutschem Gebiet auf der Insel Neupommern nördlich von Neuguinea entdeckt hat, mit Beschleunigung zum Auswerfen seiner heißen Wassermassen zu bewegen, bedienen sich die smarten Amerikaner mancherorts des allerdings verbotenen Seifens, d. h. sie werfen 15 bis 20 kg Seifenpulver in den scheinbar ruhenden Schlund, wonach die sich bildende Seifenschaumdecke die Überhitzung des Wassers und die dadurch er-

Digitized by Google

folgende Explosion befördert, so daß der Ausbruch viel früher als sonst erfolgt.

Diese heißen Springquellen sind so zu erklären, daß dem Erdinnern durch Spalten entströmende heiße Dämpfe das ebenfalls erstarrenden Magmen seinen Ursprung verdankende juvenile heiße Wasser nach und nach im Rohre des Geisirs so stark erhitzen, bis endlich z. B. in 10 m Tiefe, von der Mündung aus gerechnet, die Wassertemperatur 120° C. erreicht hat. Das dort überhitzte, unter dem Drucke kälteren Wassers stehende Wasser beginnt Blasen aufzuwerfen und zu verdampfen. Dadurch wird die überlagernde Wassersäule leichter; das tiefer befindliche überhitzte Wasser verdampft infolgedessen in viel größerer Menge und wirft durch den ungeheuren freiwerdenden Überdruck die ganze über sich lagernde Wassermasse in die Höhe. Dadurch sinkt die Dampfspannung, das Wasser kann sich auf unter 100° C. abkühlen und bleibt im Rohre so lange in Ruhe, bis die aus den erstarrenden Magmen im Erdinnern frei gewordenen heißen Dämpfe und das heiße Wasser ihm wieder so viel Wärme zugeführt haben, daß das Spiel aufs neue beginnen kann.

Fig. 46. Die im Juni 1886 durch eine vulkanische Explosion in die Luft gesprengten weltberühmten Kieselsinterterrassen am Rotomahanasee auf der Nordinsel Neuseelands.

So wiederholt sich durch lange Zeiträume hindurch die Tätigkeit der periodischen Springquellen, bis endlich einmal durch tektonische Störungen, die meist mit Erdbeben einhergehen, die Dampf und Wasser zuführenden Spalten sich zunächst zum Teil und endlich ganz schließen. Als Folge davon müssen die Ausbrüche immer seltener werden und zuletzt ganz aufhören. So sind die Zwischenzeiten der Ruhe am zuerst bekannt gewordenen isländischen großen Geisir, der am Rande der großen Gletscherwüste, welche das Hochplateau der Insel bildet, in einer Höhe von etwa 110 m über dem Meere liegt und der ganzen Kategorie

Digitized by Google

den Namen gegeben hat, von einer halben Stunde im Jahre 1772 auf fast 20 Tage gegenwärtig gestiegen, und die berühmtesten Springquellen auf Neuseeland sind infolge vulkanischer Erschütterungen, die im Juni 1886 die schrecklichsten Verwüstungen über jene einzigartigen Gebiete am See Rotomahana d. h. warmer See brachten, fast ganz versiegt. Damals brach der dem kochenden See benachbarte Tarawerayulkan aus und sprengte dessen ganzes Südufer mit den entzückenden rosenroten Kieselsinterterrassen, wie auch die nicht minder reizenden schneeweißen Terrassen des Westrandes in die Luft. Wo einst die herrlichsten Farbenwunder der Natur zahlreiche Besucher hingelockt und mit staunender Bewunderung erfüllt hatten, gähnten in einem Augenblick tiefe Schlünde und zischten übelriechende Fumarolen. Dieselbe unterirdische Kraft, die jene Wunder im Laufe sehr langer Zeiträume geschaffen, hat sie auch wieder in einem Augenblicke zerstört, so daß wir uns heute mit den eingehenden Schilderungen all dieser untergegangenen Herrlichkeiten begnügen müssen, die uns der verdiente österreichische Geologe Ferdinand von Hochstetter hinterlassen hat.

Verwandt mit den heißen Springquellen sind die heißen Schlammsprudel oder Schlammvulkane, mit einer italienischen Bezeichnung auch Salsen genannt. Sie finden sich meist in denselben Gegenden wie jene und unterscheiden sich von den einfachen Siedequellen nur dadurch, daß bei ihnen das heiße, oft unter hohem Dampfdruck stehende Wasser noch überdies mit Schwefelwasserstoff oder schwefliger Säure beladen ist. Unter der chemischen Einwirkung dieser ätzenden Gase, wie unter der mechanischen von Wasser und Dampf werden leichte, zerstörbare Gesteine, wie Ton, vulkanische Tuffe und dergleichen zersetzt, zu einer breiigen Masse aufgelöst und als Schlamm mit zutage gefördert.

Als Beispiel dafür mögen die Namar Islands dienen, die an einigen ehemals stärker vulkanischen Stellen des Landes, vor allem in der Gegend von Reykjahlid, auftreten. Sartorius von Waltershausen schreibt über sie: „In einer ganz wagerechten, vegetationslosen Ebene von aschgrauer Färbung, die nach Norden von starren Lavaströmen, im Westen von einem Höhenzuge mit Solfataren begrenzt wird, liegen vier größere und mehrere kleinere Schlammkessel, von verdächtigem Erdreiche umgeben, das leicht unter den Füßen des Beobachters zusammenbricht. Ein graublauer, öfter noch blauschwarzer widriger Schlamm, der für nichts tauglich zu sein scheint, als die Isländer von ekelhaften Hautausschlägen zu heilen, brodelt hier dampfumhüllt in kraterähnlichen

Becken und wird von platzenden Blasen, die aus der Tiefe steigen, ununterbrochen in die Luft gespritzt."

Diese Namars führen uns zu den eigentlichen Schlammvulkanen oder Salsen, die an vielen Punkten der Erde vorkommen, wo ausklingender Vulkanismus durch Ausströmung ätzender heißer Dämpfe aus in der Tiefe erstarrenden Magmen sich bemerkbar macht. Die Natur der Gase, deren Ausströmen das Wallen des Wassers und dessen starke Reibungswirkung neben der auflösenden auf leicht zerstörbare Gesteine bedingt, ist bei den verschiedenen Salsen, die wir in Europa zunächst in der weiteren Umgebung von Modena, in Süditalien, bei Kronstadt in Siebenbürgen und im kaukasischen Gebiete besitzen, eine ganz verschiedene. Während aus den Salinellen von Paternò und den benachbarten Schlammquellen in der Umgebung des Aetna, sowie aus dem Höllenmoraste nördlich von Kronstadt hauptsächlich Kohlensäure ausströmt, kommen bei den großen Makaluben von Girgenti auf Sizilien, die heute Schlammhügel von 49 m Höhe bilden, aus denen sich Schlammströme ergießen, auch Chlornatrium und Schwefelverbindungen damit zutage.

Fig. 47. Schlammvulkane auf Java mit kegelartig aufgebauten Mündungen.

Die Macaluba von Girgenti, die bereits von Schriftstellern des Altertums erwähnt wird, beschreibt **Friedrich Hofmann** aus dem Jahre 1801 wie folgt: „In einer wenig erhöhten Tonebene sind auf einer Höhe von etwa 150 Schritt Länge und 50 Schritt Breite etwa 30 zwischen 2 und 3 Fuß hohe Schlammkegel aufgeworfen; jeder trägt auf der Spitze eine etwa fußgroße, trichterförmige Vertiefung, welche mit Salzwasser erfüllt war und stets ward die Oberfläche dieser kleinen Wasseransammlungen von austretenden Gasblasen in brodelnder Be-

wegung erhalten, wobei sich nicht selten an den Abhängen dieser Kegel über die Ränder der kleinen Krater kleine Ströme der mit Salzwasser getränkten Tonmasse ergossen, welche das Bild kleiner Lavaströme gleichsam spielend wiederholten.“

Über die Salinellen von Paternò, die 22 km vom Zentralkrater des Aetna entfernt sind, und aus welchen auf einer leicht geneigten Tonfläche von etwa 3 qkm heißes Salzwasser und Dämpfe, besonders von Kohlensäure, hervorbrechen, schreibt Lasaulx: „Die Salinellen sind über einer flachen Terrainwölbung von einigen Morgen Umfang verbreitet und führen einen hellen Schlamm empor, der rings den Boden mit einer zum Teile noch so weichen Kruste bedeckt, daß man stellenweise tief in dieselbe einsinkt. Als ich am 7. Oktober 1878 die Salinellen sah, befand sich auf einem flachen Hügel eine Zahl von 23 kreisrunden Öffnungen, deren größte 1 bis 2 Fuß Durchmesser hatten, meist mit grauem schlammigem Wasser gefüllt, welches durch entweichende Gasblasen heftig aufbrodelte und dann den Schlamm über den Rand zum Ausfließen brachte. Die Temperatur des Wassers schwankte zwischen 20 und 26° C. Die kleinen Kraterbecken sind aus einem graublauen tonigen Kalksinter gebildet, der in vielen feinen Lagen über einander liegt. Die nicht mit Wasser gefüllten Öffnungen ließen das Gas nicht unmittelbar wahrnehmen, wenn man aber die Hand über eine solche hielt, fühlte man deutlich den gegen dieselbe strömenden warmen Luftzug. Die Öffnungen wechseln sehr oft die Stelle, die einen verstopfen sich und andere brechen auf. Die Tätigkeit war keineswegs eine heftige, das Aufwallen und Überfließen erfolgte sehr ruhig, nur begleitet von dem gurgelnden Geräusch der entweichenden Gasblasen. Doch hatte vor kurzer Zeit aus einer auf dem höchsten Teile des Terrains ein heftiger Schlammauswurf stattgefunden.“

Kurz darauf fanden, wie bei der letzten größeren Eruption im Jahre 1866, nach einer Reihe vorausgehender Erderschütterungen sehr starke Schlammausbrüche statt, indem bald da bald dort aus Kratern von 1 bis 2 m Durchmesser dicke Säulen warmen Schlammes 2 bis 3 m hoch emporstiegen, schäumend durch die große Menge von Gasen, hauptsächlich Kohlensäure mit etwas Schwefelwasserstoff, welche mit eigentümlichem Geräusch durch den Schlamm hindurchdrangen. Währenddessen stieg die Temperatur der ausgeworfenen Schlammmassen, deren Überfluten in die benachbarten Felder und Orangengärten man nur durch rasch errichtete Mauern zu verhindern vermochte, stellenweise bis 46° C.

Die Salse von Sassuolo bei Modena stößt neben heißen Schlamm-

massen und Gasen auch Gesteinsfragmente in großer Zahl hervor. In längeren Zwischenräumen bricht sie mit großer Gewalt aus. Schon Plinius erwähnt den großartigen Ausbruch vom Jahre 90 vor Christus. Bei dem letzten vom Jahre 1835 floß der Schlamm über 1 km weit und füllte ein kleines Tälchen aus, wobei die ganze Auswurfsmasse auf 1½ Millionen cbm berechnet wurde.

Fig. 48. Spratzkegel, welcher in eine darunterliegende, teilweise eingestürzte Höhle führt, in einem erstarrten Lavastrome des Vulkans Kilauea auf der Insel Hawaii in Ozeanien.

Nachdem wir so die wichtigsten Erscheinungen der Entgasung der in der Abkühlung begriffenen Erstarrungsgesteine betrachtet haben, wollen wir unsere Aufmerksamkeit aufs neue den Laven zuwenden. Wir haben gesehen, daß diese beim Fließen die Abhänge hinunter an ihrer Oberfläche sehr rasch erkalten, so daß sich eine feste Kruste bildet, in welcher, wie in einem Schlauche, sich die noch flüssige Masse weiterschiebt. Wenn nun die Lava spärlicher zu fließen beginnt, so kommt es öfter vor, daß sie den Hohlraum hinter sich nicht mehr ganz auszufüllen vermag. Dann senkt sich in der Regel die nicht genügend gestützte Decke allmählich herab, und zwar begreiflicherweise in der Mitte stärker als an den Seiten, so daß schließlich ein solcher Strom, statt wie jede fließende Masse konvex gewölbt zu sein, konkav mit erhöhten Rändern erscheint.

Digitized by Google

Ist jedoch, was allerdings nicht häufig vorzukommen scheint, die feste Decke schon dick und fest genug, um ihr eigenes Gewicht zu tragen und nicht nachzusinken, so entstehen Hohlräume unter derselben. Bei den ungeheuren Ausbrüchen, welche die Vulkane Islands zur Tertiärzeit hatten, wobei die dunkle, leichtflüssige, basaltische Lava sich auf gewaltige Strecken als eine bis 60 m mächtige Decke ausbreitete, haben sich beispielsweise jene merkwürdigen Lavagrotten gebildet, die zu der Hauptsehenswürdigkeit der Insel gehören. Die bekannteste unter ihnen ist die Surtshellir d. h. die schwarze Höhle bei Kalmanstunga. Sie liegt in einem ungeheuren Lavafelde, hat eine Länge von 1600 m bei einer Breite von 18 m und einer Höhe von 12 m und enthält außer dem Hauptgange eine Anzahl von Nebenkammern. Die Wände sind von glänzenden, glasigen Erstarrungsprodukten bedeckt, von der Decke hängen prachtvolle Stalaktiten von Lava herab und die Seiten sind mit Längsstreifen, dem bestimmten Anzeichen des einstigen Durchströmens noch flüssiger Massen, wie kanneliert. Noch großartiger ist das Tal von Thingvalla, das eine etwa 7 km lange, von senkrechten Wänden eingeschlossene ebene Einsenkung in einem riesigen Lavafelde darstellt, die durch den Einbruch der Decke eines riesigen Lavastromes in den darunterliegenden Hohlraum entstand.

Rasch erstarrte Lava zeigt keinerlei ausgesprochene Neigung zu einer Absonderung nach bestimmten Richtungen, dagegen finden wir eine solche fast immer in den tieferen Teilen von sehr mächtigen Strömen, die vermöge ihrer Dicke nur ganz langsam erkalten konnten. Natürlich vermögen wir nur an älteren vulkanischen Ergüssen, die durch Verwitterung soweit abgetragen und aufgeschlossen sind, einen Einblick in das Innere zu tun. Dabei finden wir fast stets bei Basalten, seltener bei Trachyten, daß die unteren, langsam abgekühlten Partien sich in langen Säulen von verschiedener Stärke abgesondert haben. Der Grund dazu muß in der Zusammenziehung beim Erkalten der Lava gesucht werden. Während die oberste schneller abgekühlte Lage keine Spur dieser Erscheinung erkennen läßt, sind nur die unteren langsam erkalteten Teile zu lauter dicht aneinander gedrängten polygonalen, und zwar am häufigsten sechsseitigen Säulen zerklüftet, welche senkrecht zur Oberfläche stehen. Sehr schön erkennen wir diese Verhältnisse an der vielbesuchten Fingalshöhle auf der Insel Staffa an der Westküste Schottlands. Wir sehen dort einen Teil eines durch Erosion zerstörten mächtigen tertiären Basaltstromes, der sich einst, als er weißglühend aus der Erde brach, vermöge seiner Leichtflüssigkeit weithin ausbreitete. Daher sind die

rascher erkalteten oberflächlichen Partien amorph, während die unteren, durch einen die Wärme überaus schlecht abgebenden Mantel vor rascher Abkühlung geschützt, nur ganz langsam erstarrten und dabei Zeit fanden, prismatische, aufrechtstehende Säulen auszubilden. Die Grenze zwischen

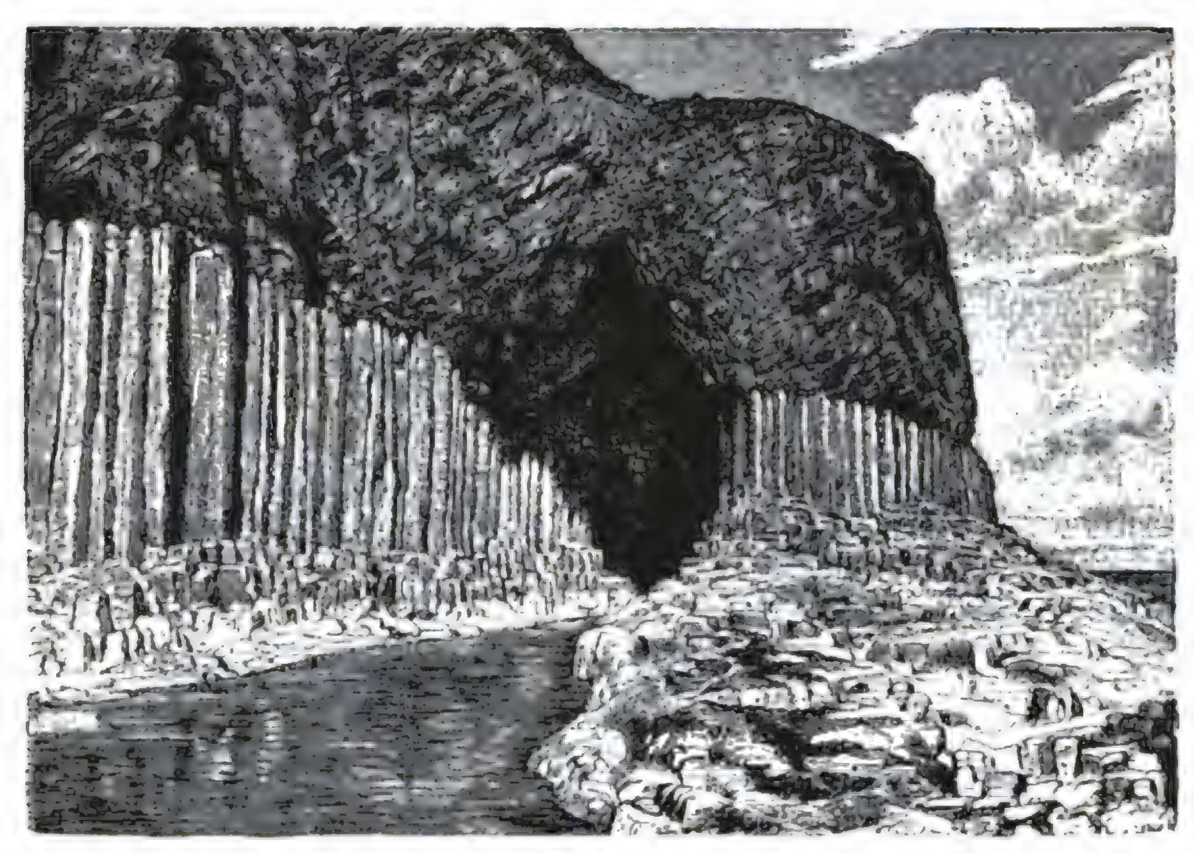


Fig. 49. Fingalshöhle auf der Insel Staffa an der Westküste von Schottland. Die ganze Basaltpartie stellt den übrig gebliebenen Rest eines zu Ende der Tertiärzeit in gewaltiger Ausdehnung ergossenen, inzwischen aber durch die anbrandenden Meereswogen zerstörten Lavastromes dar, in welchem die unteren, langsamer abgekühlten Partien ausgezeichnet säulenförmig abgesondert sind, während der rascher erkaltete obere Teil amorph blieb.

beiden so überaus verschieden ausgebildeten Partien desselben Stromes ist eine sehr scharfe.

In seltenen Fällen sondern sich, vermutlich da, wo eine raschere Abkühlung an den Seiten vor sich ging, die Säulen eines mächtigen Basaltstromes auch fächerförmig gefiedert aus, wie z. B. am Humboldtfelsen bei Aussig an der Elbe in Böhmen.

Noch seltener ist die Erstarrungsform eine sphäroide, indem sich das ganze Gestein in konzentrisch um einander gelagerte Kugelschalen abscheidet. Diese schalige Absonderung beobachtet man übrigens auch an älteren Erstarrungsgesteinen, wie besonders am Granit, und wird mit Vorteil beim Abbau desselben benützt. Bisweilen sieht man die sphä-

roide Anordnung in Verbindung mit der säulenförmigen. Ganz ausnahmsweise kann auch einmal eine Absonderung in Platten eintreten, die ja sonst bei den massigen Erstarrungsgesteinen im Gegensatz zu den aus dem Wasser abgesetzten Sedimentgesteinen kaum je vorkommt.

Auch in der feineren Struktur sind, wie bereits erwähnt, die erstarrten vulkanischen Produkte sehr verschieden. Manche der rasch erkaltenden Ströme sind ganz glasig, und zwar sind es meist kieselsäurereiche, trachytische Laven, welche diese Eigentümlichkeit aufweisen. Dieses meist tiefschwarz oder doch sehr dunkel gefärbte natürliche Glas bezeichnet man als Obsidian. Da es bei muscheligem Bruch außerordentlich scharfe Schneiden wie Glassplitter aufweist, ist es nicht zu verwundern, daß niedrigstehende Menschenstämme besonders gerne ihre Schneidewerkzeuge, Lanzen und Pfeilspitzen aus ihm verfertigten, bevor sie die Metalle als noch besseres Werkzeugmaterial in Gebrauch nahmen. Allerdings sind die Obsidiane keine ganz reinen Gläser, sondern sie zeigen unter dem Mikroskope sehr zahlreiche winzige Kriställchen in der Grundmasse. In Europa finden wir sie besonders auf Island und auf den Liparischen Inseln nördlich von Sizilien; außerdem kommen sie in Armenien, den kanarischen und einzelnen westindischen Inseln, Mexiko und Java vor. Doch zählt ihr Vorkommen im allgemeinen zu den großen Seltenheiten und die Schnelligkeit der Erstarrung kann nicht das wesentlich Entscheidende bei ihrer Bildung sein, da es mächtige, ganz aus Obsidian bestehende Lavaströme gibt. Bis vor kurzem hat man geglaubt, daß kieselsäurearme, also basaltische Laven nicht zu obsidianartigem Glase erstarren; doch hat man neuerdings solche in ziemlicher Menge an den Vulkanen der Inseln im Stillen Ozean gefunden.

Sehr viel häufiger als die glasigen sind die kristallinisch-körnig erstarrten Laven. Allerdings lassen die oberflächlichen Teile der Lavaströme, die von blasig-schlackiger Beschaffenheit sind, diese mehr in der Tiefe auftretende kristallinische Struktur nicht gut erkennen. Und je tiefer und in je wärmerer Umgebung die Laven liegen und je langsamer sie infolgedessen erstarren, um so deutlicher und schöner sieht man die Kristalle in der vorhin genannten Reihenfolge in ihnen auftreten. Ist es doch eine allgemeine Erfahrungstatsache, daß ein erkaltetes Erstarrungsgestein um so grobkörniger wird, in je tiefere Lagen wir es in die Erde hinab verfolgen. Derselbe in oberflächlichen Lagen kleinkörnige Granit zeigt um so größere und besser ausgebildete Kristalle, je tiefer wir hinabdringen. So dürfen wir wohl mit Sicherheit annehmen, daß in größeren Tiefen heute noch wie früher Granite,

Syenite und deren Verwandte mit ihren großen, schön ausgebildeten Kristallen entstehen. Allerdings würde man erst in vielen Millionen von Jahren, wenn die fortschreitende Denudation und Verwitterung diese heute noch tief im Innern der Erde auskristallisierenden Erstarrungsgesteine durch die Abtragung der mächtigen darüber liegenden Schichten

Fig. 50. Lavastrom des Vesuvs mit typischer Gekröselava.
(Nach Photogramm von Dr. K. Leuchs.)

aufgedeckt haben wird, dafür sichtbare Beweise erlangen können. Immerhin ist es merkwürdig, daß in den ältesten uns bekannten Erdschichten schlackige Laven, wie auch der damit verwandte Obsidian und Bimstein zu fehlen scheinen. Jedenfalls waren auch sie einst, wenn auch in bedeutend geringerer Menge als heute, vorhanden und sind uns nur nicht in den von uns erschlossenen Gegenden der Erde erhalten geblieben.

Da die aus dem Erdinnern hervorbrechenden glühenden Magmen ganz außerordentliche Mengen von Gasen und Wasserdampf unter höchstem Drucke enthalten, so ist es nicht zu verwundern, daß wenn jene an die Erdoberfläche gelangen, diese bei schließlich ganz aufgehobenem

Digitized by Google

Drucke sich explosiv befreien und das mit ihnen herauskommende Magma zu feinstem Pulver, der sogenannten Vulkanasche, zerstäuben. Kleinkörnige Bestandteile, die ausgeblasen werden, bezeichnet man als Vulkansand, größere Stückchen dagegen mit einem lateinischen Worte als Lapilli (italienisch als Rapilli) und ganz große Auswürflinge endlich Bomben, wenn die Lavastücke während des Fluges durch die Luft mehr oder weniger erhärten. Oft sind sie infolge der rotierenden Bewegung, die sie beim Ausgeschleudertwerden erhielten, spiralig gedreht; solche bezeichnet man dann als gedrehte Bomben.

Infolge von großem Gasreichtum bildet sich besonders bei spezifisch leichten trachytischen Laven oft eine schwammig aufgetriebene, blasige Form in schlackigen Strömen oder losen Auswürflingen, die man als Bimstein bezeichnet. Dieses poröse, leichte, meist grau oder seidenglänzende Gestein hat sich, wie es heute noch in der Nähe tätiger Vulkane entsteht, so auch bei den im Miocän große Massen auswerfenden Vulkanen der Tertiärzeit in Menge gebildet. So finden wir den Bimstein oft große Räume bedeckend bei Andernach, in der Auvergne, in den Euganeen, in Ungarn, auf den Inseln Sizilien, Island, Milo und Santorin, wie auch auf Tenerife und bei Quito auf den südamerikanischen Anden.

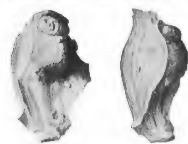


Fig. 51 u. 52. Schraubenartig gedrehte Obsidianbombe von der Insel Volcano in zwei Ansichten nach Prof. Günther.

Bei der Mehrzahl der vulkanischen Ausbrüche übertreffen die losen Auswürflinge an Masse weitaus die gleichzeitig ausfließenden Laven. Geschieht die Eruption unterseeisch oder fallen die lockeren Auswurfsprodukte ins Meer, so bilden sie hier normal geschichtete Sedimente von vulkanischen Tuffen, welche häufig die Reste von darin zugrunde gegangenen Wassertieren umschließen. Die ganze so überaus fruchtbare Campagna felice von Neapel besteht aus solchen vulkanischen Aufschüttungen, die allerdings nicht aus dem heute noch tätigen Vesuv, sondern, wie Abich gezeigt hat, teils aus den verschiedenen einst in den Phlegräischen Feldern nördlich und westlich von Pozzuoli feuerspeienden Bergen, teils aus der weiter nördlich gelegenen Rocca Monfina, einem ebenfalls erloschenen Vulkane, stammen. Aber auch

Digitized by Google

auf dem Lande können Aschenteile durch ihre löslichen Bestandteile zusammenkitten und Tuffe bilden, die je nach dem darin enthaltenen Korne feiner und gröber sind. Auch zerriebener Bimstein bildet einen feinen Tuff, den man am Mittelrhein Traß nennt. Er erfüllt beispielsweise das Brohltal in der Eifel 30 m hoch.

Bei allen Eruptionen stürzen auch größere oder kleinere Teile des bei früheren solchen Anlässen aufgeschütteten Aschenkegels in den Krater, von wo sie weithin ausgeschleudert werden. Ja, ist der vulkanische Ausbruch heftig, so kann geradezu der alte Kegel in die Luft geblasen werden und völlig verschwinden, um neu aufgeschüttet zu werden. Die mit großer Gewalt aufsteigenden Laven können aber auch Stücke von den anstehenden Felsarten, die sie auf dem Wege aus der Tiefe zur Kraleröffnung durchbrechen, mit emporreißen und bei den Explosionen ausschleudern oder, in die Laven eingebettet, mit ausfließen lassen. So findet man am Vesuv, besonders an dem durch vorgeschichtliche Eruption gebildeten alten Kegel, der sogenannten Monte Somma, zahlreiche solche Blöcke ausgeschleudert, welche teils aus jungen Meeresbildungen mit Muschel- und Schneckenschalen, teils auch aus den weit älteren grauen Kreidekalken, wie sie im Apennin und in den Sorrentiner Bergen massenhaft auftreten und offenbar auch in der Tiefe unter dem Vesuv vorkommen, bestehen. Und zwar haben die Kalke infolge der vom Vulkanschlote ausgehenden großen Wärme durch sogenannte Kontaktmetamorphose vielfach starke Veränderungen erlitten; viele Stücke sind ganz in kristallinischen Marmor verwandelt worden, in andern dagegen haben sich durch die Einwirkung der aus schmelzflüssigen Silikaten bestehenden Lava auf den kohlensauren Kalk, der einst dort in einem Meere der Kreidezeit abgelagert worden war, eine Reihe interessanter, oft prachtvoll auskristallisierter Mineralien gebildet, die den Vesuv zu einem der gesuchtesten Fundorte für interessanteste Mineralien gemacht haben.

Wir brauchen aber nicht so weit nach Süden zu gehen. Auch in unsern, einst vor vielen Millionen von Jahren tätig gewesenen Vulkangebieten sehen wir in den Erstarrungsgesteinen oft mitgerissene Stücke von anstehendem Fels ebenfalls durch die Hitzewirkung stark verändert. Diese fremdartigen Gesteinstrümmer, wie Granit, Gneis, Kalke und dergleichen mehr, zeigen jeweilen an, aus was für Gesteinen die tieferliegenden Erdschichten bestehen, durch welche sich der vulkanische Ausbruch einen Weg gebahnt hat. So finden wir im Vulkangebiete des Kaiserstuhls bei Freiburg im Breisgau, das zur mittleren Tertiärzeit,

im Miocän, nach der Bildung der Rheintalsenkung zwischen den stehengebliebenen Horsten des Schwarzwaldes und der Vogesen in einer von Südwesten nach Nordosten streichenden Verwerfung, angrenzend an den größeren Einbruch der Bucht von Freiburg, entstand, in dem durchgebrochenen Phonolith, dem nebenbei bemerkt natronreichsten Eruptivgesteine, Trümmer von Granit und Gneis, die hier, dem Aufbau des Untergrundes zufolge, wohl mindestens 1000 m unter der Oberfläche liegen müssen. Gegenüber davon am Fuße der Vogesen finden wir ebenfalls, und zwar in Granitausbrüchen, die zeitlich in die jüngere Steinkohlenzeit fallen, also sehr viel älter sind als die Eruptionen des Kaiserstuhls, mitgerissene Trümmer von Gneisen und älteren Kalken, die dem sogenannten Kulm oder unteren Carbon angehören, in die einst feuerflüssig der Erde entquellenden Magmen eingeschlossen und durch die große Hitze hochgradig verändert.

In der Mitte des Kaiserstuhls ist mitten in kieselsäurereichen Ergußgesteinen ein großer Stock dem mittleren Jura oder Dogger angehörenden Kalksteins, den wir sonst als Hauptrogenstein ausgebildet finden, durch Kontaktmetamorphose in grobkristallinischen Marmor umgewandelt, dem man seine Abstammung von einem verhältnismäßig so jungen Sedimente gar nicht anmerken würde, wenn man nicht aus bestimmten Gründen seine Abstammung kennte. Dann sind dort noch verschiedene Herde von oligocänem, also ganz jungem Septarienton, durch die strahlende Hitze der glühend sich ergießenden Nachbarschaft zu Porzellanjaspis gebrannt. Anderwärts sind solche um einen vulkanischen Ergußherd liegende Gesteine durch Kontaktmetamorphose geschmolzen und teilweise mit einer Glasrinde überzogen, Sandsteine sind gefrittet worden und zeigen eine säulenförmige Absonderung, etwa vorkommende Braunkohlen erweisen sich als verkokt oder in Steinkohlen, letztere dagegen in Anthrazit oder gar Graphit verwandelt.

In einem in postkulmischer Zeit ausgebrochenen Granitgange der Vogesen können wir beispielsweise sehr gut die durch verschieden rasche Abkühlung vor sich gegangenen Strukturveränderungen nicht nur der Umgebung des Schlotes, sondern der in ihm selbst erstarrten Massen studieren. Da haben wir in der Mitte einen Zylinder von vollständig kristallinisch ausgebildetem Granit, darum herum kommt eine Schicht mit immer kleineren Kristallen, sogenannter Mikrogranit mit vollkristallinischer Grundlage. Diese gehen nach außen, wo die Abkühlung rascher vor sich ging, in einen Porphyr mit dichter Grundlage, in sogenannten Granitporphyr über, und in den äußersten Lagen hat sich infolge der

raschen Erstarrung nicht einmal die porphyrische Struktur ausbilden können, sondern wir treffen hier eigentlich glasige Schichten, die an das Salband anstoßen, das durch Kontaktmetamorphose infolge der Hitzewirkung in der Weise verändert ist, daß die geschichteten Kalke in kristallinischen Marmor umgewandelt wurden.

Zwei französische Forscher, Fouqué und Michel-Lévy, haben zuerst experimentell Erstarrungsgesteine herzustellen versucht, und es

Fig. 53. Aufschluß an der Straße am rechten Enimufer in Südsumatra, wo über tonigen Tuffen Schotter der alten Flußterrasse liegen. (Nach einem Photogramm von Dr. A. Tobler.

gelang ihnen in der Tat, mehrere Natronfeldspate oder Plagioklase, Augit, Magneteisen, Leucit, das ist ein in vielen Laven enthaltenes Kalitonerdesilikat, Olivin, eine in Basalt wie auch in Meteorsteinen vorkommende Verbindung von kieselsaurer Magnesia mit Eisenoxydul, und andere Mineralien in mikroskopisch deutlich erkennbaren Kristallen zu erhalten. Auch Gemenge von solchen in Form von Mineralien erhielten sie. So wurde z. B. ein Gemenge von 2 Teilen Olivin, 2 Teilen der vorhin als Labradorit bezeichneten Abart des Natronfeldspats und 1 Teil Augit, das ist ein Kalk-Magnesia-Tonerde-Eisenoxydulsilikat, das sich von der Hornblende nur durch die Kristallform unterscheidet, zusammengeschmolzen und erstarrte bei raschem Erkalten zu einem amorphen Glase. Wurde die Masse dagegen 48 Stunden hindurch in Weißglühhitze er-

Digitized by Google

halten und langsam abgekühlt, so begann die Mineralbildung, indem sich zahlreiche deutlich kristallisierte Olivine und Oktaeder von Magneteisen bildeten; neben diesen war als Grundmasse ein braunes Glas zurückgeblieben. Wurde die Masse noch weitere 48 Stunden in heller Rotglühhitze erhalten und noch langsamer abgekühlt, so war fast alles Glas verschwunden und an dessen Stelle kristallisierte noch weiteres Magneteisen aus, ferner Labradorit, Augit usw., kurz, es war eigentlicher Basalt daraus entstanden.

Daubrée hat dann auch gezeigt, daß wenn man Glas in Stahlzylindern mit Wasser, das eine Dampfspannung von 1000 Atmosphären bei 400° C. besitzt, erhitzt, es sich teilweise löst und darin mit der Zeit deutliche Quarzkristalle auftreten, die, wenn die Erhitzung etwa einen Monat gedauert hatte, eine Größe von 2 mm erreichen. Da nun der Quarz unter allen Mineralien der Erstarrungsgesteine zuletzt auskristallisiert und dabei die größte Menge von Flüssigkeits- und Gaseinschlüssen aufweist, so spielt entschieden bei dessen Ausbildung das im Magma enthaltene überhitzte Wasser eine große Rolle. Alle quarzhaltigen Gesteine müssen in größerer Tiefe und unter höherem Drucke infolge einer überaus langsamen Erkaltung sich gebildet haben, beziehungsweise in tieferen Lagen der Erdkruste heute sich noch bilden; denn gleich wie in früheren Zeiten gehen heute noch dieselben geologischen Prozesse beständig vor sich.

VII.

Der Vulkanismus.

Von jeher haben die feuerspeienden Berge die Phantasie des Menschen mächtig erregt. Wie sich die Griechen den schneebedeckten Feuerberg Siziliens, den 3313 m hohen Aetna, welcher der höchste der noch tätigen Vulkane Europas und der höchste Berg Italiens ist, als Werkstatt des Feuergottes Hephästos — bei den Römern als Vulkanus bezeichnet — dachten, wo er mit Hilfe seiner riesigen Gesellen, der Kyklopen, den Göttern ihre Waffen und Geräte, vor Allem dem gewaltigen Donnerer Zeus oder Jupiter seine Donnerkeile schmiedet, so haben die abergläubigen späteren Christen, die in steter Furcht vor den Höllenstrafen lebten, in ihm den Schlot des Reiches Satans, des Gottes der Unterwelt, zu erblicken geglaubt, wo der Höllenfürst mit seinen Gehilfen, den Teufeln, die armen Seelen der Verdammten schmoren soll. Der aufgeklärte Kulturmensch unserer Tage belächelt zwar solche naiven Ansichten vergangener Zeiten, aber nichtsdestoweniger fürchtet er sich instinktiv vor jenen unheimlichen unterirdischen Gewalten, die bisweilen in wenigen Augenblicken ganze Landstriche verwüsten und vielen Tausenden den jähen Tod bringen. Und dies mit Recht; denn es gibt auf dem ganzen Erdenrund keine fürchterlicheren Katastrophen als solche mit Erdbeben, Wasserfluten und anderen Schrecken einhergehenden Vulkanausbrüche, deren Beschreibungen nur zu lesen auch den Gefühlshärtesten unter uns beinahe das Blut in den Adern erstarren macht.

Die Zahl der tätigen Vulkane zu bestimmen ist überaus schwierig, da dieser Begriff schwer abzugrenzen ist. Wir kennen deren gegen 300, die im Laufe der letzten drei Jahrhunderte tätig waren, während die Zahl der seit längerer Zeit nicht mehr in heftigen Ausbrüchen tätigen, wenn auch noch nicht ganz erloschenen, sich auf Tausende beläuft. Dabei ist

jeder einzelne Vulkanberg wieder von oft zahlreichen kleinen Vulkanen umgeben, die zeitweilig in Tätigkeit traten. So zählt der Aetna nicht weniger als 700 Nebenkrater, und manche andere Vulkane wimmeln in ähnlicher Weise von ihnen. Nach Darwins Schätzung beträgt die Zahl der Krater der Galápagosinseln westlich von Ecuador etwa 2000.

Fig. 54. Typische Vulkanlandschaft aus Ostjava.

Ausblick vom Penandjan auf die auf einer Verwerfungsspalte gelegene Vulkanreihe mit Bromo, Batok und zu hinterst dem 3671 m hohen Smeru. An den Steilabhängen sind die aufgeschütteten Aschenkegel von tiefen radiären, vom Kraterrand ausgehenden Furchen durchzogen, die zuerst von großen, aus dem Krater geschleuderten und den Abhang hinabrollenden Blöcken in die lose Asche eingeschnitten wurden. Diese Rinnen wurden dann von den nachfolgenden Massen als Passage benutzt und immer tiefer ausgeschliffen. An ihrer Vertiefung beteiligten sich zuletzt auch die vulkanischen und atmosphärischen Wasserniederschläge. Im Vordergrund der sog. Sandsee, bestehend aus einem aus geschmolzenem Gesteinsmaterial gebildeten, während des Herausgeschleudertwerdens zu feinen Splitterchen erstarrtem Staube glasartiger Silikate, den man deshalb statt Sand zutreffender als Glasstaub bezeichnen sollte.

Man spricht deshalb besser von vulkanischen Gebieten als von Einzelvulkanen, da die letzteren weniger wichtig sind.

Ihre Verteilung auf der Erde ist eine sehr ungleiche; in weiten Gebieten fehlen sie ganz und in anderen kommen sie wieder in großen Mengen vor. So hat Europa heute noch im äußersten Süden und Norden tätige Vulkane, wovon außer dem Vesuv alle auf Inseln liegen. Und auch der Vesuv erhebt sich in nächster Nähe des Meeres. Es scheint also auf den ersten Blick ein geheimnisvoller Zusammenhang zwischen dem Meere und den Eruptionsherden aus dem Erdinnern zu bestehen. Doch nicht alle Meeresküsten und Inseln beherbergen Vulkane. Es muß deshalb die Beziehung der Vulkane zum Wasser nicht durch die Meeresnähe, sondern durch den Bau gewisser Meeresbecken bedingt sein. Und in der Tat, eine genaue Untersuchung ergibt,

Digitized by Google

daß vulkanische Tätigkeit vorzugsweise an Steilküsten, an denen junge Faltengebirge auftreten, gebunden ist. Solcher Natur sind vor allem die Küsten des Stillen Ozeans.

Alle Meeresbecken sind nämlich Einsenkungen und Einbrüche der Erdrinde, und die Ränder der Kontinente sind Bruchränder, welche Linien größter Störungen folgen. Wo immer bei der Aufrichtung der Faltengebirge der Zusammenhang der Gesteinsschichten gelockert und durch Brüche, sogenannte Verwerfungen, zerrissen wurde, da sind an Bruchspalten eruptive Glutmassen emporgedrungen und haben zu vulkanischen Ausbrüchen Veranlassung gegeben. Es ist also der Vulkanismus nur eine Folgeerscheinung der Gebirgsbildung. Auch in den Ausnahmefällen, wo Vulkane fern vom Meere auftreten, geschieht dies ebenfalls in der Nachbarschaft großer Brüche und Senkungsfelder, wie im Innern Ostafrikas oder am Fuße der Faltengebirge Zentralasiens. Ganz natürlich fließt das Wasser diesen Senkungsgebieten zu, sammelt sich in ihnen und bespült so den Fuß der Vulkane, ohne daß es deswegen auch nur das Geringste mit der vulkanischen Tätigkeit zu tun hätte. Es ist nämlich vollkommen falsch, anzunehmen, was man bis vor kurzem allgemein geglaubt hat, daß das Meerwasser an gewissen Bruchspalten, die besonders tief hinabreichen, an einzelne Herde glühend-flüssiger Massen gelange, dort sich gewaltig erhitze, unter enorme Dampfspannung gerate und zu Explosionen führe, die dann die vulkanischen Erscheinungen verursachen. Vor allem kann das hinabsickernde Infiltrationswasser nicht in solche Tiefen dringen, da dort der Schmelzpunkt der Gesteine nahezu erreicht oder schon überschritten ist. Dann fehlen auch dem

Fig. 55. Einblick in den Bromokrater auf Ostjava. Wie die Außenwände, so sind auch die Innenwände des Kraters von solchen radiär nach unten zu verlaufenden tiefen Rinnen durchzogen, die auf dieselbe Weise entstanden, wie beim vorhergehenden Bilde erklärt wurde.

Digitized by Google

Meerwasser vollkommen die für vulkanische Exhalationen charakteristische Kohlensäure, Borsäure usw., und zum andern werden die für das Meerwasser kennzeichnenden Bestandteile, wie Jod und Brom, in den vulkanischen Gasen kaum je angetroffen. Nein, wie wir im vorigen Abschnitte bereits ausgeführt haben, sind die allerdings ganz gewaltigen Exhalationen von Wasserdampf und anderen Gasen, die beim Vulkanismus zutage treten, das Produkt der langsam aber stetig fortschreitenden Erstarrung des Magmas, wobei sich wasserfreie Mineralien bilden und die darin aufgelösten Gase frei werden. Diese letzteren haben von Anbeginn der Erde durch Aeonen im Innern der feurig-flüssigen Massen in der Erdtiefe geschlummert, um plötzlich, bei nachlassendem Drucke, sich gewaltsam aus dem Magma befreiend nach außen hervorzubrechen und sich zum erstenmale der Lufthülle und der Erdoberfläche beizugesellen. Es sind also die Wasserdampf- und Gasmengen der vulkanischen Ausbrüche entsprechende Bereicherungen der Erdoberfläche, nicht altes, nur neu in Umlauf gesetztes, sondern neu geschenktes Kapital am Barvermögen der Biosphäre.

Fortwährend entstehen neue Vulkane, während ältere erlöschen und dann vom fließenden Wasser abgetragen und zerstört werden. Sehr viele derselben sind demnach ganz vorübergehende Erscheinungen, die mit einem unter Explosion vor sich gehenden Ausbruche glühender Magmen ihre Tätigkeit mehr oder weniger erschöpfen. Andere ruhen sehr lange Zeiträume hindurch, bis wieder eine neue Periode der Tätigkeit erfolgt. In letzterem Falle sind die Ausbrüche meist um so heftiger, je länger die vorausgegangene Zeit der Ruhe war. Dabei müssen die heraufdrängenden Massen, wenn die Spannung der Dämpfe in ihrem Innern ein Maximum erreicht hat, die den Schlot verstopfende erkaltete und dadurch erhärtete Lava wie den Pfropfen aus der Champagnerflasche mit einem Male hinausschleudern, was dann jene so fürchterlichen Katastrophen erzeugt, welche plötzlich Tod und Verderben speiend ganzen Landschaften mit allem darin Lebenden einen jähen Untergang bringen.

Mit einer solchen Explosion ist der einzig jetzt noch tätige Vulkan des europäischen Festlandes, der Vesuv, als solcher in Erscheinung getreten. Die umwohnenden alten Römer hatten keine Ahnung, daß der mons Vesuvius ein maskierter Vulkan sei. Bis oben hinauf war er dicht bewaldet. Noch im Jahre 72 vor Christus hatte sich der Thraker Spartacus, der Anführer der aufständischen römischen Sklaven, mit seiner vieltausendköpfigen Schar in der ebenfalls mit stämmigem Hochwald bewachsenen Kraleröffnung verschanzt. Kein Mensch dachte

an irgend was Schlimmes von seiten dieses Kegelberges, der doch eine ganz andere Gestalt als die meisten anderen Berge besaß. Da stellte sich zunächst im Jahre 63 nach Christus ein heftiges Erdbeben ein, das zahlreichen Bauten der blühenden campanischen Städte Stabiae, Herculaneum und Pompeji erheblichen Schaden zufügte. Doch beunruhigte man sich nicht weiter darüber und baute die zu Schaden gekommenen Häuser neu auf. Da trat 16 Jahre später jener schreckliche Ausbruch des Berges ein, der die ganze Umgebung samt jenen vorhin genannten Städten 6 bis 20 m hoch mit vulkanischen Aschen- und Sandmassen verschüttete, so daß uns dadurch ein Einblick in das Leben und Treiben der damals lebenden Menschen ermöglicht wurde.

Fig. 56. Ausbruch des Kraters Djonggring seloko in Ostjava, aufgenommen vom Smerusignal (3671 m) aus. Der Aufbau des Kegels aus Asche ist sehr deutlich erkennbar. (Nach Photogramm von Dr. Aug. Burtorf.)

Im August 79 erhob sich, wie der jüngere Plinius in einem Briefe an Tacitus erzählt, zugleich mit einem heftigen Erdbeben eine pinienartige Wolke, hauptsächlich aus glänzend weiß leuchtendem Wasserdampfe bestehend, vielfach durch die mit ausgeworfenen Steine und vulkanische Asche dunkelgrau gefärbt, die sich oben ausbreitete und mit der infolge der Abkühlung erfolgten Verdichtung zu Wasser in gewaltigen Regengüssen, mit Asche und Steinen vermischt, herunterfiel. In der Dampfwolke erfolgten währenddem durch die gegenseitige Reibung der ausgeschleuderten Massen gewaltige elektrische Entladungen, Blitz an Blitz durchzuckte unter dem Tosen der entfesselten Elemente die sich rasch weithin von der fallenden Asche verdunkelnde Luft. Dieser Aschenregen wurde immer dichter und heißer, dann fielen Bimsteine und dunkle, vom Feuer zersprengte und geschwärzte Steine. Aus dem Vesuv

brachen an einigen Stellen große Flammen hervor und ihnen entströmte giftiger Schwefelgeruch. Erdbeben erschütterten fortwährend den Boden. Das Meer trat zurück und seine Ufer erhöhten sich durch die ausgeworfenen Trümmer des an seiner Spitze zerrissenen Berges. Der Aschen- und Steinregen dauerte 1½ Tage an. Lava wurde fast gar nicht ausgestoßen, und als der Himmel sich endlich lichtete, war die ganze Umgebung des teilweise weggeblasenen Berggipfels von gewaltigen Mengen vulkanischer Auswurfsprodukte bedeckt, die durch das Wasser der aus der „Pinie" niederstürzenden Regengüsse zu einer schlammigen Masse umgewandelt waren und mit der Zeit zu einem festen Tuff erhärteten.

Das Resultat jenes ersten historisch beglaubigten Vesuvausbruchs war am Berge selbst vornehmlich der Einsturz des südwestlichen Teiles des ursprünglichen Ringberges, von dem nur noch ein halber Kreis als sogenannte Somma übrig blieb, und die Aufschüttung eines neuen zentralen Gipfels. Seit dieser Zeit hat die Somma keinen Ausbruch mehr gehabt; alle solche gingen stets aus dem neuen Krater oder von den Seiten des zentralen Gipfels aus. Trat späterhin auch Lava aus, so floß sie entweder auf der südlichen Seite unmittelbar nach abwärts, oder sie ergoß sich in die Schlucht zwischen Kegel und Somma, in das sogenannte Atrio del Cavallo, dessen Sohle dadurch fortwährend erhöht wird, und aus dessen Ausgängen der Feuerstrom bei hinreichender Masse entweder nach Westen, am Observatorium vorbei, oder nach Osten, in der Richtung gegen Pompeji, zum Abhang des Berges gelangt, um an ihm herunter zu laufen.

Seit jenem ersten heftigen Ausbruche des Jahres 79 geschahen bis zum 17. Jahrhundert acht Eruptionen des Vesuvs, und zwar teilweise durch sehr lange Pausen vollständiger Ruhe von einander getrennt. Sie ereigneten sich in den Jahren 203, 472, 512, 685, 993, 1036, 1139 und 1500. Die Berichte über die ältesten derselben sind überaus dürftig und bieten wenig Interesse, doch verdient die riesige Entfernung, auf welche nach dem Geschichtsschreiber Procopius die Asche vom Winde entführt wurde, erwähnt zu werden. Im Jahre 472 nämlich flog sie bis nach Konstantinopel und im Jahre 512 bis Tripolis an der afrikanischen Küste. Dabei zeigte sich die sehr merkwürdige Erscheinung, daß gerade in Zeiten länger dauernden Stillstandes der Vesuvtätigkeit aus anderen jedenfalls mit demselben Magmaherde in der Tiefe zusammenhängenden Schlünden der Nachbarschaft, in den Phlegräischen Feldern und auf Ischia, vicariierende Ausbrüche stattfanden. Im Jahre 1198 war die

Solfatara bei Pozzuoli in Tätigkeit, 1302 der Monte Epomeo auf Ischia und 1538 schütteten gewaltige Block- und Aschenauswürfe innerhalb zweier Tage den 139 m hohen Monte Nuovo, d. h. den „neuen Berg", bei Pozzuoli auf, während vom Vesuv in der Zeit von 1139 bis 1631 eine einzige und zudem noch sehr unbedeutende Ascheneruption aus dem Jahre 1500 erwähnt wird.

Während der kaum gestörten fünfhundertjährigen Ruhe vom 12. bis zum 17. Jahrhundert hatte sich der Berg wieder vollständig mit Vegetation bedeckt, selbst im Krater stand ein alter Wald von Eichen, Steineichen und Eschen; nur einzelne Fumarolen und drei Pfützen mit teils warmem, teils salzigem oder bitterem Wasser erinnerten an die frühere vulkanische Tätigkeit, die in der Tiefe schlummerte, aber jederzeit sich wieder bemerkbar machen konnte. Da traten am Abend des 15. Dezembers 1631, als Mahnung, daß die unheimlichen Kräfte der Tiefe sich aufs neue zu regen begannen, wiederum heftige Erdbeben auf, gegen Morgen spaltete sich unter furchtbarem Getöse die Südseite des Berges und unter Bildung einer gewaltigen Pinienwolke wurde ein Teil des Berges in die Luft geblasen. Auf große Entfernungen hin wurden mächtige Steinblöcke weggeschleudert, und weit in der Runde verbrannten die niederstürzenden glühenden Aschenmassen alle Vegetation. Am 18. Dezember erreichten die Schrecknisse ihren Höhepunkt, als nach einem äußerst heftigen Erdbeben sich eine ungeheure Lavaflut aus dem Krater stürzte und, in mehrere Ströme geteilt, in weniger als einer Stunde zum Meere strömte, wobei 3000 Menschen getötet und zahlreiche Ansiedelungen zerstört wurden. Drei der Ströme schoben sich noch einige hundert Meter ins Meer hinaus. Der vor der Katastrophe den Monte Somma um 40 m überragende Kratergipfel

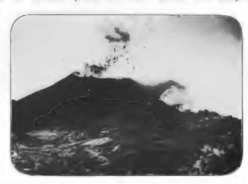


Fig. 57. Kraterkegel des Vesuvs, ein Jahr vor seiner Zerstörung am 7. April 1906; aus ihm werden glühende Lavabrocken herausgeschleudert. Etwas rechts davon ein parasitischer Auswurfkegel. Im Vordergrund reichlich ergossene Gekröselava.

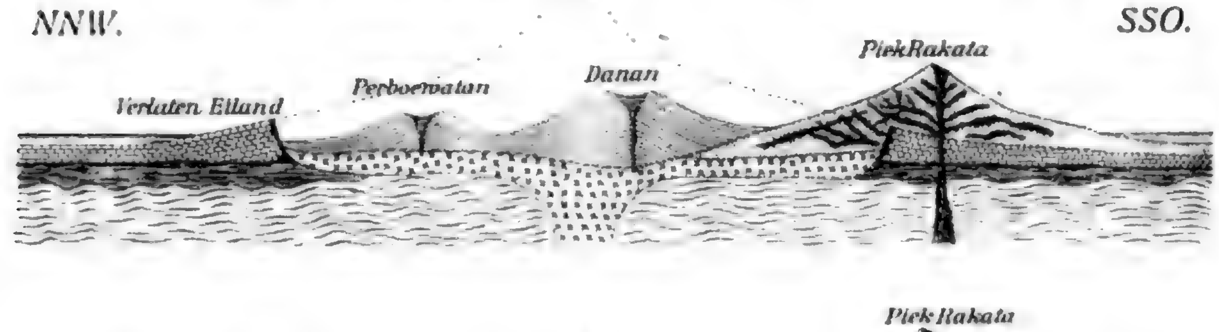
Digitized by Google

war nach diesem Ausbruche um volle 130 m niedriger als dieser geworden, hatte also im ganzen 170 m an Höhe verloren.

Nach diesem furchtbaren Ausbruche ereigneten sich in den nächsten Jahren noch einige weitere kleinere, dann folgte von 1638 bis 1660 eine Ruhepause. Im letzteren Jahre fand wiederum ein größerer Ausbruch statt und seitdem ist der Vesuv fast in beständiger Tätigkeit geblieben, so daß beinahe alle Jahrzehnte eine schwächere oder heftigere Eruption stattfand. Im Jahre 1734 wurde ein beträchtlicher Teil des inzwischen aufgeschütteten Zentralkegels wieder weggeblasen. Dann wurde er wieder 110 m höher aufgeschüttet, um beim Ausbruch des Jahres 1822 um den gleichen Betrag erniedrigt zu werden. In der Folge wurde er wieder um 170 m erhöht, im Jahre 1872 jedoch aufs neue um ein gutes Stück abgetragen, um wieder etwas aufgeschüttet, aber durch letzte Katastrophe vom April 1906 um 200 m erniedrigt zu werden. Ihren Höhenpunkt erreichte die Dampfexplosion dieses letzten Ausbruches um Mitternacht des 7. April, wo sie ganz gewaltige Mengen von zerfetzten heißen Lavastücken und Asche auswarf, womit die beiden Dörfer Ottajano und San Giuseppe verschüttet wurden. Unter entsetzlichem Brüllen flogen die riesigen Blöcke in feurigen Garben aus dem Krater, während aus der reichlich 12 km hoch steigenden Dampfsäule fortwährend Blitze hervorzuckten und Donner rollten, wodurch die Schrecken der furchtbaren Kanonade aufs höchste gesteigert wurden. Dabei wurde die Spitze des Berges zerrissen und eine Masse von etwa 10 Millionen cbm Gestein weggeblasen. Der ungewöhnlich kraftvolle Aschenauswurf dieser Eruption wurde bis Dalmatien hin nachgewiesen. Er drang wohl gegen 50 km hoch in die Luft, um sich dort wie bei anderen vulkanischen Ausbrüchen sehr lange schwebend zu erhalten und so durch die Luftströmungen schließlich über die ganze Atmosphäre der Erde verteilt zu werden. Wie immer floß auch damals nur wenig Lava aus. Nach der ersten Dampferuption am 4. April brach ein Lavastrom an der Südseite des Bergkegels gegen Bosco Trecase hin hervor, kam aber westlich von diesem Ort bald zu stehen. Da bildete sich etwas unterhalb von dessen Ausbruchsstelle eine neue Öffnung, aus der sich Lava in breitem Strome mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 m in der Minute ergoß, um dann mitternachts trotz der ihr entgegengehaltenen Heiligenbilder in drei Stunden durch Bosco Trecase hindurch zu fließen, die Kirche und viele Häuser zerstörend und manchen der allzu vertrauensvoll auf die Hilfe der angerufenen Heiligen bauenden Einwohner unter sich begrabend. Der Lavafluß

steigerte sich bis zum Hinweggeblasenwerden des Vesuvkegels, wonach er rasch versiegte; dafür aber machte sich zeitweise eine stärkere Rauchentwicklung bemerkbar, die über zwei Monate anhielt.

Je und je ereignen sich solche Katastrophen auch anderwärts, indem oft in ganz kurzer Zeit für erloschen gehaltene Vulkane in einer fürchterlichen Explosion zerrissen werden. So wurde beispielsweise am 15. Juli 1888 der Bandai, ein 1840 m hoher Vulkan Nordnippons bei einer gewaltigen Explosion zersprengt und teilweise weggeblasen. Die Untersuchung der dabei herausgeschleuderten, über ein Gebiet von 60 qkm



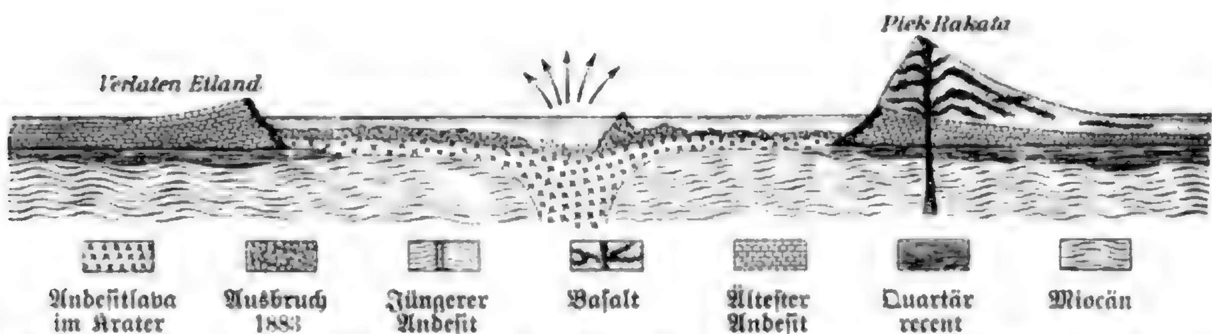


Fig. 58. Die Vulkaninsel Krakatau in Durchschnitten vor und nach der letzten Explosion vom 2. Mai 1883. (Nach Prof. Karl Schmidt.)

ausgebreiteten Massen, die man auf mehr als 1200 Millionen cbm schätzt, zeigte, daß sie durchaus keinen tiefen Ursprung hatten, sondern aus den Trümmern des zersprengten Berges bestanden. Durch diese vulkanische Explosion entstand ein Tal von 1½ km Breite mit 150 m hohen Steilwänden. Noch gewaltiger war die Explosion der kleinen, mehrere hundert m hohen Sundainsel Krakatau, die im Jahre 1883 den dortigen Vulkankrater zerriß und die Hälfte der Insel bis zu 300 m Tiefe hinwegblies. Schon im Mai 1680 war dieses vorher schön bewaldete Inselchen nach einem gewaltigen Erdbeben mit lautem Donner auseinandergeborsten, worauf Schwefelgeruch die Luft und Bimstein das Meer erfüllte. Darauf herrschte lange Zeit wieder vollständige Ruhe und die Insel bewaldete sich aufs neue vollständig vom Seestrande bis zum Gipfel. Da verwandelte sich am 20. Mai 1883 unter Erdbeben und Donner die kleine Verlaten-Insel bei Krakatau in einen

Krater, der Feuer mit mächtigen Dampfwolken, Asche und Bimsteine auswarf. Von einem zufällig in der betreffenden Gegend weilenden deutschen Kriegsschiffe sah man die riesige Pinienwolke aus ausströmendem Wasserdampf sich nach genauen Messungen 15 km hoch erheben. Gleichzeitig fiel trotz der weiten Entfernung Asche auf das Verdeck nieder. Im Verlaufe einiger Tage nahmen die Erscheinungen wieder ab, ohne indessen ganz aufzuhören. Besonders war Mitte Juni wieder eine sehr rege Tätigkeit dort zu bemerken und das Meer lag weithin mit Bimstein bedeckt. Am Abend des 28. August erfolgte dann aus einem der beiden kleineren Krater der sich im großen Kegel bis zu 822 m Höhe erhebenden Insel Krakatau eine letzte gewaltige Explosion, die nach Verbeecks Schätzung mindestens 18 cbkm vulkanischen Gesteins in Form von feiner Asche zu einer fabelhaften Höhe in die Luft hinaufblies, wovon etwa 12 cbkm in einem Umkreis von 12 km um den Ausbruchsherd niederfielen und hier eine 20 bis 40 m hohe Aschenschicht bildeten. Damals war in der ganzen Sundastraße der Himmel 18 Stunden lang durch die Unmenge herabfallender Asche vollkommen verfinstert. Der Schall der furchtbaren Explosion, die gegen 45000 Menschen das Leben kostete, verbreitete sich auf eine Entfernung von etwa 3400 km über einen Umkreis, der $^1/_{15}$ der ganzen Erdoberfläche beträgt. Zwei neue Inseln von 3 und $4^1/_4$ qkm Oberfläche, aber nur wenige Meter hoch, hatten sich an zwei seichten Meeresstellen durch den Aschenfall gebildet, da sie aber nur aus ganz losem Materiale bestanden, wurden sie sehr bald wieder von den rastlos gegen sie anschlagenden Wellen verschlungen. Noch im Oktober jenes Jahres, als Verbeeck die Gegend besuchte, dampften die neu aufgeschütteten Inseln, so warm waren die sie bildenden herabgefallenen Massen. Ungeheure Massen von Bimstein bedeckten weithin das Meer und bildeten förmliche schwimmende Inseln, die ein paar Meter über den Wasserspiegel emporragten. Selbst starke Dampfer vermochten diese schwimmenden Bänke nur mit Aufbietung der vollen Dampfkraft zu durchfahren und gerieten oft durch Beschädigung der Maschinen in eine schlimme Lage. Ganz feine Asche verbreitete sich über einen Bezirk, dessen Ausdehnung auf 750000 qkm, also bedeutend größer als das deutsche Reich, geschätzt wird. Ja, die allerfeinste Asche wurde bis 100 km hoch in die Luft geschleudert und erhielt sich, von verschiedenen Luftströmungen getrieben, mehrere Monate hindurch schwebend, ehe sie zur Erde niederfiel. Sie war die Veranlassung jener damals bald über die ganze Erde beobachteten und gegen Ende November 1883 in Europa zuerst sich bemerkbar machenden herrlichen

Dämmerungserscheinungen, welche allgemeines Aufsehen und Bewunderung erregten.

An jenem Unglückstage tobten weithin durch die Sundastraße die fürchterlichsten Orkane mit außerordentlich starken Elektrizitätsentladungen und fürchterlichen Güssen; auch die Luft wurde so stark von der Explosionswelle erschüttert, daß weithin alle Barometer die unglaublichsten Schwankungen aufwiesen. Mit einer Geschwindigkeit von etwas mehr als 1000 km in der Stunde flog die von der Explosion herrührende Luftwelle mehrmals um die Erde, bis sie sich endlich verlor. Die gleiche Erregung zeigte das Meer, über das sich eine anfänglich etwa 40 m hohe Flutwelle mit einer Geschwindigkeit von 567 ³/₄ km in der Stunde oder 157 ¹/₂ m in der Sekunde dahin bewegte, um mit durch die Entfernung entsprechend verminderter Stärke an den fernsten Küsten rauschend sich zu brechen.

Fig. 59. Die stehengebliebene Hälfte der Insel Krakatau, welche einen idealen Durchschnitt durch den noch etwa 700 m hohen Vulkanberg Pulu Rakata zeigt. Um den zentralen, mit erstarrter Lava gefüllten Schlot liegen die dunkeln aufgehäuften Aschenmassen.

Besser als diese nur ein weltverlassenes, von Menschen nicht bewohntes Vulkaninselchen von 33 ¹/₂ qkm Oberfläche betreffende Katastrophe hat sich die am Morgen des Himmelfahrtstages, am 8. Mai 1902, auf der westindischen Insel Martinique vor sich gegangene Vulkanexplosion, die nicht weniger als 38 000 Menschen das Leben kostete und u. a. auch eine interessante Vogelart gänzlich ausrottete, beobachten lassen. Diesem Unglücke ging ein heftiges Erdbeben in Mittelamerika voraus, welches am 18. April 1902 die Stadt Quetzaltenango nebst zahlreichen kleineren Ortschaften vernichtete und gegen 15 000 Menschen einen jähen Tod brachte. Die seitdem gesteigerte Tätigkeit der Vulkane Chingo und Santa Maria in demselben Staate zeigten den vulkanischen Charakter dieses Bebens an. Schon 5 Tage später ließen sich in St. Pierre, der Hauptstadt der fast 1000 qkm großen, sehr stark bevölkerten Insel Martinique, unterirdische Donner hören und am 24. April stiegen die ersten auffälligen Dampfsäulen von dem 1350 m hohen, nur 7 ¹/₂ km von der Stadt entfernten Vulkan, dem Mont Pelé, empor. Obschon sich in den beiden folgenden

Digitized by Google

Tagen an einigen kleineren Nebenkratern neue Öffnungen bildeten, welche viel Schlamm auswarfen, und obwohl vom 2. Mai an gehäufte leichte Explosionen mit Aschenausbrüchen und zahlreiche Erdbeben stattfanden, ahnte doch niemand die bevorstehende Katastrophe. Da ergoß sich am 5. Mai durch eine seitliche Schlucht des Vulkans ein verheerender Schlammstrom von 200 m Breite und 10 m Höhe ins Meer, auf seinem Wege zwei Rumfabriken samt ihren Insassen vernichtend. Nachdem er den 5 km langen Weg bis zum Meere in etwa 3 Minuten zurückgelegt hatte, stürzte er mit solcher Wucht ins Meer, daß der Hafen von St. Pierre überflutet wurde. Unglücklicherweise trieb die Furcht vor den unheimlich drohenden Naturgewalten viele Menschen vom Lande in die Stadt, deren Straßen damals nur wenige Zentimeter hoch mit weißer Asche, wie mit frisch gefallenem Schnee bedeckt waren.

Am Nachmittag des 7. Mai erfolgten am Vulkan 9 bis 10 dumpfe Explosionen. Am folgenden Morgen gegen 7 Uhr erhoben sich weiße Dampfmassen am Berge, welche die Bildung eines neuen Kraters unterhalb des Gipfels anzudeuten schienen. Da erfolgte kurz vor 8 Uhr morgens eine fürchterliche Explosion, wobei sich nach dem Berichte einiger mit dem Leben davongekommener Augenzeugen eine Seite des Berges öffnete und eine große schwarze Wolke ausspie, die mit einer Geschwindigkeit von mehr als 1000 m in der Sekunde sich gegen St. Pierre wälzte. Sie enthielt neben zerstäubter Lava noch halbflüssige glühende Schlacken und glühendheiße Gase, so neben Wasserdampf auch einige giftige Gase, wie Kohlenoxyd und Schwefelwasserstoff, welche die ganze Bevölkerung in einem Augenblicke versengten und erstickten, auch die ganze Stadt, soweit sie nicht vom gewaltigen Luftdrucke eingestürzt war, in kurzer Zeit verbrannten und dem Erdboden gleich machten.

Die Wucht der Explosion war eine ganz unglaubliche. Kubikmetergroße Blöcke von Andesit, die von den Wänden des Kraterschlundes losgerissen wurden, fielen innerhalb des ersten km von der Ausbruchstelle zu Boden. Faustgroße Bimsteinstücke wurden aber bis St. Pierre und wallnußgroße Lapilli sogar bis nach dem viel weiter südlich gelegenen Fort de France geschleudert. In einem Abstande von 8 km vom Krater hatten die durch die Explosion herausgeschleuderten Wasserdampf-, Gas- und Andesitstaubmassen noch eine größere Wucht als die stärksten Orkane, so daß die gewaltigsten Bäume durch ihren Anprall entwurzelt und die festesten Bauten niedergeworfen wurden. 9 oder 10 km vom Krater blieben die Bäume wohl noch teilweise stehen, aber sie wurden vollständig ihres Blatt- und Astwerkes beraubt. Starken Männern

fiel es selbst in 12 bis 14 km Entfernung noch schwer, sich gegenüber dem Luftdrucke aufrecht zu erhalten. Ein gußeisernes Marienbild im Süden von St. Pierre, das etwa 9 km von der Ausbruchsstelle entfernt war, wurde noch von seinem Postamente geschleudert und 14 m südwärts getragen.

Aus der Richtung zu schließen, in welcher die Gegenstände zu Boden geworfen wurden, muß der Orkan fächerförmig gewirkt haben.

Fig. 60. Blick von der Blanche Gorge nach dem Mont Pelé. Alle Abhänge sind mit vulkanischer Asche und großen und kleinen Andesitblöcken übersät, welche die beim Ausbruche mit enormer Gewalt herunterfegenden heißen Dampfwolken bis zum Meere hinabwälzten.

Die Glut der von ihm getragenen Lapilli und wohl über 400° C. heißen Gase war in 8 bis 9 km Entfernung noch so groß, daß die Stadt St. Pierre davon in allen ihren Teilen fast augenblicklich in Flammen stand. Die Schiffe der Rhede kenterten meist sofort und sanken oder verbrannten. Nur ein einziges, von seiner Ankerkette losgerissenes englisches Schiff entkam als aschenbeladenes Wrack mit 26 Toten an Bord. Am gründlichsten wurde in der Stadt alles Mauerwerk, welches quer zur Richtung des Anpralles aufgeführt war, niedergelegt, während

Digitized by Google

von demjenigen, das in der Längsrichtung stand, mancherlei stehen blieb, bis es unter der verstärkten Wucht späterer Ausbrüche auch noch zusammenstürzte.

In betreff der Vernichtung von Menschenleben haben die Befunde an den Leichen, ebenso die Beobachtungen der Ärzte an den von dem einen Schiffe und aus dem Grenzgebiete der Zerstörung Geretteten ergeben, daß es vor allen Dingen das Einatmen des heißen Wasserdampfes und der mit glühendem Andesitstaub beladenen Luft gewesen sein muß, das den Tod verursachte. Daneben wirkten gleichzeitig die mit ausgeschleuderten Gase, die in Unzahl niedergehenden Blitze und das jäh hinstürzende Gemäuer mit an der augenblicklichen Tötung aller Einwohner.

Unter den Berichten der wenigen geretteten Augenzeugen, die über die Katastrophe vorliegen, reden einige von einem feurigen Fächer, der sich aus dem zerspaltenen Berge erhob und auf die Stadt herabfiel, andere von einem dunklen Wolkenwalle, der daraus hervorbrach und im Herannahen purpurn und feurig wurde, noch andere von einer Lawine von glühender Asche und heißem Wasserdampf, untermischt mit entzündlichen und giftigen Gasen, die sich am Südwestabhange des Berges herabwälzte, etliche endlich auch von einem Glutorkane, der über die Gegend hinweggefegt sei, und tatsächlich dürften alle diese verschiedenen Berichte die eine oder die andere Seite des grausigen Phänomens ganz richtig erfaßt haben.

Die großen Massen von glühend heißer Asche, welche durch die mit großer Geschwindigkeit sich abwärts wälzenden Wolken von Wasserdampf aus dem Vulkaninnern an die Oberfläche gebracht und vorzugsweise in den Vertiefungen des Geländes, namentlich in den Flußtälern abgesetzt worden waren, vermochten unter dem isolierenden Schutze der äußeren Aschenschichten sehr lange ihre hohe Temperatur zu bewahren, und wenn es dem bei Platzregen jählings in allen Rinnen und Flußbetten niedergehenden Wasser gelang, Zutritt zu diesen heißen Aschen- und Lapillimassen zu bekommen, so erfolgten plötzlich gewaltige Dampfexplosionen, wobei blumenkohlartige Dampfwolken hunderte von Metern, in einzelnen Fällen sogar 1½ km hoch in die Luft aufstiegen und große Mengen festen Materials mitrissen, das sich nachher rings um die Öffnung in Form vielfach sehr hübscher Aschenkegel anhäufte. Einzelne dieser letzteren erreichten nach den Angaben des ausgezeichneten Vulkanologen K. Sapper, der diese Gebilde an Ort und Stelle eingehend studierte, die Höhe von 12 m und einen Durchmesser von 49 m.

Der Abfluß des Regenwassers an den von vulkanischer Asche bedeckten Bergabhängen erzeugte aber nicht nur Dampfexplosionen, sondern auch Schlammströme, indem nicht nur das kondensierte, vulkanische Wasser, sondern auch solches von einem kleinen Kratersee hunderte von Metern hoch in die Luft geschleudert wurde, und, außerhalb des Kraters niederfallend, ungeheure Mengen von Asche mitriß und, durch keine Vegetation behindert, mit verheerender Gewalt abwärts stürzte. Besonders an der Nordostküste der Insel wurde durch sie großer Schaden angerichtet.

Der französische Chemiker Moissan hat die aus dem Mont Pelé ausgeworfenen Aschenmassen, welche, mit Wasser vermengt, die Schlammströme bildeten, untersucht, und fand, daß sie überaus einförmig aus Andesit bestanden, einem Gemenge von Natronfeldspat, Hornblende, Augit und etwas Quarz von porphyrartiger Struktur. Es wechselte darin nur der Grad der Zersplitterung und der prozentische Gehalt an Hypersthen, einem Magnesiaeisensilikat, dessen verschiedene Mengen die Auswürflinge bald heller und bald dunkler färbte. Lava ist dem Berge nie entströmt. In den ihm ausströmenden Fumarolengasen fand derselbe Forscher Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Schwefelwasserstoff, Methan, Acetylen, Stickstoff, Ammoniak, Argon und wahrscheinlich auch Helium.

Fig. 61. Die über 300 m hohe fingerförmige Felsnadel des Mont Pelé zu Ende des Jahres 1902 nach Lacroix.

Viel heftiger noch als die ersten und die ihr folgenden Ausbrüche war die Eruption vom 30. August desselben Jahres, die infolge der vorzeitigen Wiederbesiedelung gewisser heimgesuchter Distrikte leider auch zahlreiche Menschenleben forderte. Im Laufe dieses und der späteren Ausbrüche wurde der Hauptausbruchsherd immer mehr nordostwärts gegen den Gipfel gerückt. Der Vulkan suchte also für seinen Hauptschlot die alte, einst einen Kratersee bergende Öffnung zu gewinnen. Dabei trat eine Erscheinung auf, die bis dahin noch nie an einem Vul-

Digitized by Google

kane beobachtet worden war und ganz außerordentlich merkwürdig ist. Es bildete sich nämlich im Innern seines mächtigen Kraters ein aus erhärteter Lavamasse bestehender Kegel, von den Franzosen Cône genannt, der allmählich den größten Teil des Kraters ausfüllte und Mitte Oktober 1902, sich im Westen an die Kraterwand anlehnend und nur Platz für eine ringförmige, stellenweise bis 100 m tiefe Rinne lassend, über die Kraterumwallung hinauszuwachsen begann, indem er von unten nach oben geschoben wurde. Aus dem unregelmäßig gestalteten Konus dieses Staukegels hob sich eine engbegrenzte Partie rasch und wuchs unter den Augen der staunenden Anwohner in ungleichmäßigem Wachstum, die Form höchstens etwa durch Abstürze von Teilen der Masse verändernd, zu einer schließlich über 300 m hohen fingerförmigen Felsnadel aus. Daß dieses merkwürdige Gebilde von schon im Schlote rasch erstarrender Lava als Ganzes wie aus einer Spritze von unten nach oben gepreßt wurde, wobei am oberen Rande des Staukegels ein gewisser Widerstand zu überwinden war, bewiesen die deutlichen Längsstreifen an der Oberfläche der gigantischen Felsnadel, die ursprünglich glatt war und nur durch beständiges Abbröckeln von Teilen eine rauhe Oberfläche bekam. Sie stieg etwas exzentrisch gegen den Ostrand des auf der beigefügten Abbildung deutlich erkennbaren Kraters in die Höhe und deutete damit an, daß dort die Stelle der energischsten Tätigkeit war. Von dieser Felsnadel stürzten nach und nach immer größere Partien ab, die allerdings teilweise durch späteres Wachstum wieder ergänzt wurden. Im August 1903 war dies einzigartige Naturwunder für immer verschwunden und an Stelle des früheren lokalisierten Wachstums trat nunmehr ein allgemeines Wachstum des ganzen Staukegels, der bald um mehr als 100 m an Höhe zunahm.

Mit diesen vulkanischen Vorgängen gingen ganz analoge auf der benachbarten, südlich gelegenen, ebenfalls im französischen Besitze befindlichen Insel Saint Vincent vor. Dort waren schon im Februar 1902 ebenfalls Erderschütterungen und seit dem 20. April mehrmals ein dumpfes unterirdisches Getöse wahrgenommen worden. Am 5. Mai bemerkte man die ersten Anzeichen wiederbeginnender Tätigkeit der Soufrière, des 1235 m hohen Vulkans im nördlichen Teil der Insel. Am 7. und 8. Mai erreichte hier wie auf Martinique die vulkanische Tätigkeit ihren Höhepunkt. Der Geistliche Darrel, welcher den Ausbruch vom 7. Mai in der Nähe von Chateaubelair, 8 km südlich von der Soufrière, beobachtete, entwirft davon folgendes Bild: „Wir wollten uns schleunigst auf unsere Beobachtungsposten begeben, als eine riesige,

dunkle, undurchdringliche, von vulkanischem Material erfüllte Wolke sich über unsern Weg senkte, indem sie uns am weiteren Vordringen hinderte und uns warnte, noch weiter zu gehen. Diese mächtige Bank von schwefligem Dampf und Rauch nahm bald die Gestalt eines riesigen Vorgebirges an, dann wieder erschien sie als ein Haufen quirlender und sich mit furchtbarer Geschwindigkeit drehender Wolkenwirbel bald von der Form eines kolossalen Blumenkohls, bald in Gestalt schöner Blumen, einige dunkel, einige glänzend weiß, andere wie Perlmutter schimmernd, alle aber von prächtigen Blitzen durchleuchtet. Bald indessen umhüllte uns dichte Finsternis. Die schweflige Luft war mit einem feinen Staube beladen, der in dicken Massen auf und um uns niederfiel und das Meer trübte. Ein schwarzer Regen begann zu fallen, gefolgt von einem andern Regen von Asche, Lapilli und Schlacken. Die über alle Vorstellung zahlreichen elektrischen Entladungen in Form von Blitzen zuckten allenthalben außerordentlich stark. Sie, wie auch das donnernde Getöse des Berges, gemischt mit dem schrecklichen Geräusche der Lava, die Erdstöße, die fallenden Steine, die enormen Massen des von dem brüllenden Krater ausgeschleuderten Materials, die unheimliche Gewalt des Berges, die jeden Augenblick zunahm, das alles vereinigte sich zu einer betäubenden Szene des Schreckens."

Fig. 62. Wirkung des Ausbruchs auf die Vegetation am Fuße des Mont Pelé.

Die Aschensäule über der Soufrière soll sich 15 km hoch erhoben haben. Sie erreichte in wenigen Stunden die Nachbarinsel Barbados und bedeckte sie innerhalb kurzer Zeit mit einer etwa 1 cm dicken Schicht, so daß auf ihr im ganzen etwa 2 Millionen Tonnen = 2000 Millionen kg Asche, einem Würfel von 93 m Seitenlänge entsprechend, abgesetzt wurden. Bis in eine Entfernung von 650 km gelangte noch ziemlich erheblicher Aschenauswurf und 420 km weit hörte man deutlich das unheimliche Brüllen des Vulkans, der bei der einen Explosion über 2000 Menschenleben vernichtete.

Das ausgeworfene Gesamtmaterial der Soufrière war sehr viel massiger als dasjenige des Mont Pelé; ihre Auswürfe geschahen mit ungleich größerer Gewalt als dort und die einzelnen Auswürflinge waren im allgemeinen größer und gröber, wurden auch viel weiter ausgeschleudert, so daß bei Kingston, etwa 20 km vom Krater, noch hühnereigroße Stücke, auf Barbados, 150 km davon, aber noch bohnengroße Lapilli niederfielen. Ein ziemlich starker Aschenauswurf gelangte sogar noch in eine Ferne von 650 km.

Die Eruptionen verliefen hier von Anfang an mehr der allgemeinen Regel gemäß als diejenigen des Mont Pelé. Da sie aus dem weitgeöffneten Hauptkrater vor sich gingen, so richteten sie ihre zerstörende Kraft nach allen Seiten und ganz besonders auch himmelwärts. Als Glutorkan, ungeheure Bäume entwurzelnd und alles versengend, traten sie nur in den ersten 5 km um den Krater herum auf, und menschentötend wirkten sie nur durch den heißen Schlackenhagel, die Wasser- und Schlammströme, wie auch die Glutsandverwehungen, die den Flüchtigen den Weg abschnitten, endlich aber durch die mit dem Ausbruche verbundenen elektrischen Entladungen. Ihre zerstörende Wirkung war infolgedessen außerhalb der Fünfkilometerzone weder für die Pflanzen, noch für die Tiere und den Menschen eine so radikale wie auf der Südwestseite des Mont Pelé. Es waren mehr stehengebliebene Stümpfe und welk herabhängende Blätter, wie auch besser erhaltene Ruinen von Bauwerken zu sehen, und von den Menschen kam eine größere Zahl mit mehr oder weniger schweren Verletzungen davon. Die folgenden Eruptionen vervollständigten freilich auch bei der Soufrière das Vernichtungswerk in weitem Umkreise, und noch am 16. Oktober 1902 hat sich ihr Zerstörungsgebiet um ein großes Stück weiter gegen Südosten ausgedehnt.

Die Vernichtung von Menschenleben war übrigens an der Windseite der Insel, d. h. im Osten, weitaus am furchtbarsten, weil die dortige Bevölkerung den Ernst der Lage am 7. Mai infolge der Bewölkungsverhältnisse viel später erkannte als die an der Westseite, wo der Himmel klar und die Fernsicht eine gute war. Dabei haben auch zahlreiche Vertreter eines eingeborenen indianischen Stammes der Inselkariben, die am Nordfuße der Soufrière eine letzte Zufluchtstätte vor den ihnen in jeder Beziehung überlegenen Weißen gefunden hatten, bis auf 35 Familien ihren Untergang gefunden.

Auch bei der Soufrière von St. Vincent bestanden die ausgeworfenen Massen aus Hypersthen-Andesit, und wirkliche Lavaströme

entflossen ihren Kratern ebenfalls zu keiner Zeit. Das merkwürdige Zusammenspiel und die vollkommene Gleichartigkeit der Auswurfsprodukte beider gegen 200 km von einander entfernt liegender Vulkane deutet auf einen engen Zusammenhang beider Herde, wobei allerdings die Soufrière von St. Vincent, die dem Mont Pelé in ihren Eruptionen meist um 12, 18 oder 24 Stunden vorausging und nur in der Haupteruption ihm drei Tage nachging, jederzeit als der eigentliche Hauptherd erschien. Bei allen diesen Ausbrüchen spielte, wie immer bei den vulkanischen Eruptionen, der unter gewaltigem Druck explodierende Wasserdampf bei der Zerspritzung oder Verstäubung und Fortschleuderung des nach oben gelangenden Magmas eine Hauptrolle. Auch hier gingen den vulkanischen Erscheinungen zahlreiche Erdbeben voraus, so um Montserrat und Guadeloupe seit 1896, in furchtbar zerstörender Weise aber am 30. April 1897, bei Caracas am 30. Oktober 1900 und in Guatemala am 18. April 1902, d. h. fünf Tage vor den ersten Detonationen aus der Kratergegend des Mont Pelé. Dem Ausbruche der Soufrière ging vom 26. bis 30. April 1812 ein gewaltiges Katastrophenbeben am 26. März jenes Jahres voraus, wobei im Laufe von 20 Sekunden in drei gewaltigen Bodenerschütterungen die ganze Stadt mit zahllosen Menschenleben vernichtet wurde. Alle diese Beben deuten mit Sicherheit auf ein besonders kräftiges Fortschreiten des karibischen Meereseinbruchs. Seit der mittleren Tertiärzeit werden hier auf dem schmalen unterseeischen Damme zwischen der atlantischen und karibischen Tiefsee, auf welchem der Inselkranz der Antillen sich aus dem Meere zu steilgefalteten Gebirgen erhebt, je und je an den schwächeren Stellen

Fig. 63. Blick in den Krater des Klut auf Java mit in der Tiefe brodelndem Lavasee, 12 Tage nach dem Ausbruche vom 23. Mai 1901. Die Wände lassen deutlich den geschichteten Aufbau des Aschenkegels erkennen.

Digitized by Google

der sich allmählich auftürmenden Landumgürtung durch das Aufreißen von tiefgehenden Spalten durch Verminderung des Druckes darunterliegender Magmaherde vulkanische Ausbrüche hervorgerufen. Dabei werden durch die heftigen Gasexplosionen große Mengen von feinster Asche in hohe Schichten der Atmosphäre hinaufgeblasen, wodurch vielfach eine glutrote Verfärbung des Himmels beim Eintritt der Dämmerung entsteht. Wie nach dem Ausbruch des Krakatau konnte man diese farbenprächtigen Erscheinungen auch nach den Ausbrüchen der Antillenvulkane von 1902 und 1903, ja sogar nach den letzten Ausbrüchen des Vesuvs vom 7. April 1906, 14 Tage nach der Eruption beobachten.

Die heftigen Erdbeben, welche allen Vulkanausbrüchen vorausgehen, zeugen von dem gewaltigen Druck der andrängenden Magmen gegen die Gesteinsdecke des Vulkans, dem diese endlich nachgibt, wobei sie zerrissen wird. Die Dämpfe und Glutmassen suchen sich nun Wege zum Ausbruch, welche nicht immer dieselben sind; denn eher reissen die enorm gespannten Dämpfe den meist nur aus losen Auswürflingen bestehenden Vulkanberg auseinander, als daß sie die nach oben drängende Lava bis zum Kraterrande höben. Besonders ist dies der Fall da, wo der Vulkanschlot infolge längerer Untätigkeit mit einem harten, schweren Pfropfen erkalteten festen Materials an seiner Mündung verstopft ist. Um dieses mächtige Hindernis zu beseitigen, muß die Dampfspannung eine ganz kolossale werden, und dann, wenn dies erreicht ist, reißt sie eben den ganzen, aus losem Materiale aufgeworfenen Berg auseinander. Sobald aber die Dämpfe auszuströmen beginnen und der Druck, unter welchem das Magma in der Tiefe steht, nachläßt, lassen die Erdbeben sofort nach.

In den ausgeworfenen Massen fast aller Vulkane sind Bruchstücke älterer Lava und anderer Gesteine zu finden. Wenn sie, wie am Vesuv, in den älteren Auswürfen, z. B. vom Jahre 79 n. Chr., vorkommen, in den jüngeren dagegen fehlen, so ist das ein sicheres Zeichen, daß der vulkanische Schlot seither nie mehr so festgeschlossen war wie früher. Dementsprechend ist auch das Erdbeben vom Jahre 63 n. Chr., seit welchem sich eine neue Phase der Vesuvtätigkeit anzeigte, eines der stärksten gewesen, das diese Gegenden je heimgesucht hat. Seitdem sind die meisten Vesuvausbrüche nur von leichteren, örtlich beschränkten Erschütterungen begleitet gewesen, die eben ganz unzertrennlich von den sich in der Tiefe vorbereitenden Dampfexplosionen sind.

Dem Ausbruch des 4168 m hohen Mauna Loa d. i. großen Berges auf Hawaii vom 7. April 1868, dem größten seit der Entdeckung der Insel,

gingen vom 28. März an gewaltige Erderschütterungen voraus, die aus tausenden von Stößen bestanden, welche stundenlang die Erde nicht aus dem Zittern kommen ließen. Dazwischen erfolgten heftigere Stöße, darunter ein äußerst zerstörender am 2. April. Am Tage nach dem Ausbruch hörte dann das Erdbeben ganz auf. Die vulkanischen Massen hatten sich eben Luft gemacht, indem sich in mehr als 3000 m Höhe ein neuer Krater öffnete, aus welchem drei Tage lang ein mächtiger Lavastrom hervorquoll und sich über den nordwestlichen Bergabhang ergoß. Darauf trat Ruhe ein, welche anderthalb Tage währte. Es folgte dann ein neuer Lavaausbruch viel tiefer, etwa in halber Höhe des Berges an der Ostseite. Mit schrecklichem Getöse wurden furchtbare Rauchmassen ausgestoßen und innerhalb weniger Tage aus den ausgeworfenen Massen ein hoher Kegel aufgebaut. Die leichtflüssige basaltische Lava wurde mit solcher Gewalt hervorgepreßt, daß sie in einem mächtigen Strahle als gewaltiger Springbrunnen aufstieg. Nach Schilderung von Augenzeugen soll der Lavastrahl etwa 35 m dick gewesen sein und eine Höhe von etwa 350 m erreicht haben. Der Osten der Insel glich einem einzigen Feuerstrome und die Nacht war fast taghell erleuchtet. Auf der See sah man den Feuerschein 260 km weit und das Getöse war bis 65 km weit zu hören. 20 Tage dauerte die Eruption in dieser heftigen Weise fort und die Lavaströme flossen 56 km weit.

Fig. 64. Krater des Kilauea (1231 m auf Hawaii mit großem See von glühender Lava, wie er früher bestand. Bei der Besprechung des roten Flecks von Jupiter wurde er erwähnt.

Im April 1868 geriet der Mauna Loa schon wieder in eine bedeutende Eruption und im Januar 1872 hatte der noch 50 m höhere, aber sehr viel weniger tätige Mauna Kea d. i. Weißer Berg einen Ausbruch. Im Gegensatz zu den meisten andern Feuerbergen bringen diese beiden

Vulkane fast nur Lavaströme hervor mit sehr geringer Beteiligung von losen Auswürflingen, die sonst bei den andern Vulkanen weitaus zu überwiegen pflegen. Da sie aus solchen leichtflüssigen, übereinandergeflossenen Lavaströmen aufgebaut sind, haben sie auch außerordentlich geringe Böschungswinkel, die kaum je 10 Grad übersteigen und sich sehr langsam erheben. Der Mauna Loa besitzt einen flachen, ziemlich breiten Gipfel mit dampfendem Krater, aus dem bisweilen Eruptionen stattfinden und Laven austreten. Besonders merkwürdig ist aber sein viel weiter unten am Gehänge befindlicher Seitenkrater Kilauea, der einen riesigen, von Lavawänden umgebenen Kessel bildet, in dessen Grunde bis vor kurzem ein See von stets glutflüssiger Lava wallte, wie es sonst von keinem andern Vulkane der Erde bekannt ist.

Welche Gewalt die Dampfausbrüche bei vulkanischen Explosionen haben können, beweist die Explosion des Tarawera auf Neuseeland im Juni 1886, bei welcher der schöne Rotomahanasee mit seinen weltberühmten, im vorigen Abschnitte erwähnten Sinterterrassen in einer Explosionsfurche von 10 km Länge, 1,2 km größter Breite und 150 m Tiefe, die sich in den Taraweraberg mit 250 m hohen Wänden fortsetzte, teils ausgeblasen wurde, teils nur versank, wobei zwischen Schuttwällen von 15 m Höhe in kraterähnlichen Senken sich inzwischen neue warme Seen und Geisirs gebildet haben. Man hat die Gesamtmasse der Auswürfe bei dieser fürchterlichen Explosion auf gegen 1300 Millionen cbm angeschlagen. Durch sie wurden die Eingeborenen-Niederlassungen am Fuße des Tarawera unter 10 m hohem Schutte begraben.

Ausbrüche, die fast nur aus solchen Dampfexplosionen bestehen, hat der Vulkan von Stromboli, dem wichtigsten Gliede der aus sieben Inseln bestehenden Liparen. Dieser Vulkan, den man wegen seiner Eigentümlichkeiten auch als einen Vulkangeisir bezeichnet hat, steht auf einer Erdspalte, die in einer dem Verlaufe des italienischen Festlandes entsprechenden gebogenen Linie vom Ätna zum Vesuv führt. Sein regelmäßiger, von einer leichten Rauchwolke gekrönter kegelförmiger Hauptkrater von 900 m Höhe ist gegen Osten etwas ausgerandet und birgt in seinem Grunde, etwa 100 m tiefer als der Rand, zwei Mündungen, in deren einer man die flüssige Lava stehen sieht. Dieselbe ist fast weißglühend und steigt oder fällt abwechselnd in Zeiträumen von 10 bis 15 Minuten. Hat sie beim Aufsteigen den Rand der Mündung erreicht, so explodiert aus ihr hochgespannter Wasserdampf, der glühende Lavafetzen und zerrissene Schlackenmassen über 100 m hoch in die Luft schleudert. Weitaus die meisten fallen wieder in den Krater zurück, so daß man

sich ohne Gefahr dessen Rand nähern und dem Spiele der in die Höhe geworfenen Lavabrocken zusehen kann.

Durch diesbezügliche Berichte aus dem Altertum wissen wir, daß der Berg seit etwa 3000 Jahren, so weit wir überhaupt Nachricht von ihm haben, in ununterbrochener regelmäßiger Tätigkeit, ohne heftige Paroxysmen, arbeitet und sich also sehr lange Zeiträume hindurch seinen Gleichgewichtszustand so fein reguliert erhält, daß er der beste Gradmesser für die Schwankungen des Luftdrucks ist. Bei stärkerem Luftdrucke, wo also ein größerer Widerstand zu überwinden ist, erfolgen die Explosionen langsamer und etwas schwächer, bei niederem Barometerstande dagegen häufiger und etwas stärker. Die umwohnenden Schiffer richten sich mit ihren Fahrten und Unternehmungen genau nach diesem Zeichen, das die Erfahrungen von Jahrhunderten bestätigt haben.

Fig. 65. Die als Soffioni bezeichneten, zur Gewinnung von Borsäure benützten Emanationen vulkanischer Dämpfe bei Monte Rotondo in Toscana. Nach Photogramm von Prof. K. Schmidt.

Nur wenige Vulkane der Erde sind wie der Stromboli in regelmäßiger Tätigkeit und keiner zeigt wie er solche Regelmäßigkeit. Der benachbarte Volcano ist durch die Produkte seines Kraters bemerkenswert. Derselbe stößt in seiner gewöhnlichen Solfatarentätigkeit außer Wasserdampf und Kohlensäure Salzsäure, salzsaures Ammonium oder Salmiak, Schwefelwasserstoff und die so selten auftretende Borsäure aus. Die wertvollen Bestandteile der Fumarolen werden in sehr einfacher Weise gewonnen, indem man lockere, vulkanische Asche auf die Mündungen der schwächeren Ausströmungen legt, wodurch die Gase hindurchstreichen und dabei infolge Abkühlung Alaun, Schwefel, Salmiak und Borsäure in Kristallen absetzen. Nach einiger Zeit wird dann die Asche

von den Mündungen weggenommen und werden die Sublimationsprodukte daraus ausgezogen. So sind Volcano und die früher erwähnten Solfataren in Toscana, von denen wir die Soffioni bei Monte Rotondo abbilden, die hauptsächlichsten Boraxlieferanten. Die Vulkane der Insel Lipari, der bedeutendsten der Gruppe, sind nicht mehr eruptiv tätig, sondern lassen nur noch schwefelwasserstoffhaltige heiße Quellen hervorsprudeln. Früher haben sie eine Unmenge sehr kieselsäurereicher trachytischer Laven, teils glasig als Obsidian, teils porös-schaumartig als Bimstein abgesondert, die beide einen wesentlichen Anteil am Aufbaue der Insel nehmen. Die Steinbrüche des wegen seiner hellen Farbe als Weißes Kap bezeichneten Capo Bianco auf Lipari liefern so ziemlich allen Bimstein, der in Europa in den Handel kommt.

Noch häufiger als auf dem Lande kommen im Meere unterseeische Vulkanessen vor, aber diese bemerken wir nur an den weniger tiefen Stellen, wenn sie durch ihre Auswurfsprodukte sich mit der Zeit über den Meeresspiegel erheben und Inseln bilden. So sind fast alle kleinen vulkanischen Inseln, wie beispielsweise auch die Liparen, entstanden. Kleine Inselchen können auch durch einmalige stürmische Eruptionen unterseeischer Vulkane entstehen, zerfallen meist aber infolge ihres lockeren Aufbaues bald wieder durch die gegen sie anbrandende Meeresflut. So verschwanden, wie wir bereits erwähnten, die mit einem Male gebildeten Vulkaninselchen um den Krakatau sehr rasch nach ihrer Aufschüttung bei der Zerberstung jenes Kraterberges. Ähnlich erging es der anfangs August 1831 durch eine untermeerische Eruption zwischen Pantellaria und Sizilien gebildeten, zur Zeit ihrer größten Ausbildung etwa 65 m hohen und einen Umfang von 700 m aufweisenden Vulkaninsel Ferdinandea, die durch wochenlange sehr heftige Eruptionen von Wasserdampf, die das Meer weithin zum kochen brachten und Dampfsäulen bis 700 m hoch in die Luft schleuderten, aus losem Material wie Schlacken, Sand und Asche aufgebaut war, Ende Oktober des gleichen Jahres aber wieder völlig verschwand und nur bis Ende 1833 als eine für die Schiffe gefährliche Untiefe nachzuweisen war.

Ähnliche unterseeische Vulkaneruptionen ereigneten sich in der Folge auch an verschiedenen anderen Punkten des Mittelmeeres südlich von Sizilien, südlich von Zante und im erdbebenreichen Gebiete zwischen Kreta und Rhodos, ohne daß es hier etwa zu vorübergehenden Inselbildungen gekommen wäre. Ein Produkt der Aufschüttung eines submarinen Vulkanes ist auch die Entstehung der Santoringruppe im Ägeischen Meere, die heute noch teilweise besteht. Nicht von Bestand

waren dagegen mehrfache auf dieselbe Weise vor sich gegangene Inselbildungen in der Gruppe der Azoren, die in den Jahren 1638, 1720, 1758 und 1811 stattfanden, dann auf Island, wo an der Südwestspitze ein sehr tätiger, unterseeischer Vulkan existiert, von dem schon 13 große Ausbrüche bekannt sind. Derselbe bildete im Jahre 1240 mehrere kleine Inseln, die bald wieder verschwanden; auch eine größere Insel mit einigen Bergen wurde von ihm im Jahre 1783 aufgeschüttet, die aber kaum mehr als ein Jahr bestand.

Gleicherweise ist im Jahre 1882 in der vulkanischen Inselreihe der Aleuten die Boroslow-Insel aufgetaucht, die seither beständig wuchs, und in neuester Zeit ist neben ihr ein neues Inselchen, das die Fischer alsbald Roosevelt-Insel nannten, zum Vorschein gekommen, um das herum zur Zeit seiner Entdeckung das Meer so siedend heiß war, daß an ein Betreten des mehrere Hektar umfassenden Felsens vorläufig nicht zu denken war.

Fig. 66. Schlammstrom des Klutausbruchs auf Java vom 23. Mai 1901 mit gewaltigen mitgerissenen Andesitblöcken zwischen feiner Vulkanasche.

Auch in Binnenseen können so durch unterseeische Ausbrüche Inseln entstehen. So stieg am 11. Januar 1880 nach einer Reihe von Erdbebenstößen, unter denen in 22 Tagen 600 beträchtliche gezählt wurden, der ganz von Vulkangesteinen umgebene Ilopangosee in San Salvador in kurzem um 1,2 m über seine mittlere Höhe, worauf heftige Entladungen von seinem Grunde her gehört wurden und am 22. Januar eine Rauchwolke unter starker Erwärmung des Wassers emporschoß. An der Stelle dieses Ausbruchs sah man dann neue Inselchen sich erheben, von denen eines Ende Februar zu einem Aschenkegel von 50 m Höhe gewachsen war.

In größeren Tiefen gelegene submarine Vulkane, die es ganz

Digitized by Google

bestimmt in ziemlicher Anzahl gibt, machen bei ihren Explosionen kaum je bedeutende sichtbare Erscheinungen, höchstens, daß die etwa in der Nähe vorbeifahrenden Schiffe mitten im Ozean Stöße zu verspüren bekommen, als ob sie auf eine Sandbank angerannt wären. So ist eine solche Stelle zwischen Afrika und Südamerika, an der engsten Stelle des Atlantischen Ozeans, wo oft solche heftige Stöße von submarinen vulkanischen Eruptionen verspürt werden, den Schiffern sehr wohl bekannt. Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts ist dort das Zentrum einer Region, wo außer wiederholten Stößen, teilweise aufgeregtes Wasser, schwimmende Bimsteine und Rauchsäulen beobachtet werden und wo sich vermutlich im Laufe der Zeit eine Insel oder Inselgruppe über die Fläche des Ozeans erheben wird. Es scheint, daß hier eine mächtige Bruchspalte schräg durch den Atlantischen Ozean verläuft; denn dieser Herd unterseeischer vulkanischer Tätigkeit liegt genau in der Verlängerung einer Linie, welche die zwei isolierten Vulkaninseln St. Helena und Ascension verbindet, und deren weitere Fortsetzung nahe am St. Pauls-Felsen, einer einsamen Serpentinklippe mitten im Meer, vorübergeht.

Auch an der tiefen Außenseite des Inselbogens der kleinen Antillen machen sich öfter aus den großen Tiefen des Atlantischen Ozeans Stöße bemerkbar. Sehr häufig sind solche an verschiedenen Stellen des Stillen Ozeans, so namentlich zwischen Nordamerika und dem hawaiischen Archipel. Eine Kette submariner Vulkane leitet von den japanischen Inseln zu den Bonininseln und den Marianen, dann südlich vom Äquator in das Gebiet der polynesischen Inseln und westlich davon. Das an unterseeischen Eruptionen reichste Gebiet scheint aber der von zahlreichen Inselgruppen durchsetzte südwestlichste Teil zu sein, in den sich die starke vulkanische Tätigkeit der Java- und der Bandasee fortsetzt. Im Indischen Ozean findet sich ein großes Gebiet untermeerischer Tätigkeit im Meerbusen von Bengalen und an der Außenseite von Sumatra. Zerstreute Stöße hat man aber auch vielfach südlich von Afrika und Madagaskar und sogar in dem inselfreien, tiefen Becken zwischen den Maskarenen und Australien beobachtet. Einer der mächtigsten unterseeischen Ausbrüche fand im Jahre 1883 gerade hier in etwa 6° südlicher Breite zwischen den Chagosinseln und Sumatra statt

Durch solche unterseeische Vulkanausbrüche sind schon mehrere transmarine Seekabel schwer verletzt worden, wodurch der betreffenden Gesellschaft große Kosten erwuchsen. Dabei zeigte sich die Guttaperchaumhüllung stark angebrannt und die darein gebetteten Kupferdrähte waren teilweise geschmolzen. Infolge der großen Tiefe bemerkt

man meist bei solchen Ereignissen außer den Stößen, welche die in der Nähe vorbeifahrenden Schiffe empfinden, gar nichts. Die dem Eruptionsherde entsteigenden Wasserdämpfe werden nämlich sofort im Meerwasser kondensiert und ebenso werden die verschiedenen abgesonderten Gase absorbiert, bevor sie durch die meist ungeheuer hohe darüber lastende Wassermasse nach oben gedrungen sind. Höchstens gelangen einige durch ihre gewaltige Größe der gänzlichen Auflösung entgangene Gasblasen nach oben. Das hierbei am Meeresboden ergossene, mit hochgespannten Gasen angefüllte Magma zerpritzt sofort bei seinem Austritt aus dem Schlote, sobald es mit dem kalten Meerwasser in Berührung kommt. Dabei sinkt es gleich zu Boden und erfährt mit der Zeit eine chemische Umwandlung, besonders durch Oxydation des darin enthaltenen Eisens. So entsteht der graue bis schwarze, bei der Verrostung braunrot gefärbte **Palagonit**, der teils blasig-porös wie der Bimstein, teils auch dicht wie Flaschenglas ist und dann meist eine ausgesprochene Fluidalstruktur aufweist. Er ist entschieden die auf dem Meeresboden am weitesten verbreitete Gesteinsart, die bisweilen mit blockartigen Stücken übersäte Erhebungen auf ihm bildet und als Beweis submariner vulkanischer Tätigkeit auch in Gegenden gefunden wird, die man bis dahin als vollkommen frei von vulkanischer Tätigkeit betrachtet hatte. Das englische, zur Erforschung der Tiefsee ausgesandte Schiff Challenger, d. h. Herausforderer, hat nußgroße Stücke davon aus den größten Meerestiefen heraufgeholt, bei denen nur der Kern noch glasig war, während die ganze Hülle aus braunrot verwittertem Palagonite bestand. In der Umgebung der Azoren sind diese Auswürflinge, die nie an die Meeresoberfläche gelangen, von hellgrüner Farbe.

Fig. 67. Durch den Schlammstrom des Klutausbruchs auf Java vom 23. Mai 1901 in die losen Aschenmassen an den Seiten des Vulkans gerissenes Tal.

Digitized by Google

So sind viele Vulkane zuerst auf dem Meeresboden aufgeschüttet worden und haben sich erst später teils durch fortgesetzte Aufschüttung, teils aber hauptsächlich durch nachträgliche Hebung des Bodens über die Meeresoberfläche erhoben und sind zu Trockenland geworden. In den sich submarin bildenden Tuffkegeln von niedrigem Gefälle schichten sich begreiflicherweise die verschiedenen Auswürflinge je nach der Porosität auf, wobei die dichten und so spezifisch schwersten zuerst sinken. Ein großer Teil dessen, was beispielsweise in der ägeischen Vulkaninsel Santorin heute über dem Meere liegt, ist unterseeisch gebildet und dann gehoben worden. Das beweisen vor allem die zahlreichen Fossileinschlüsse im Tuff von Akrotiri.

Nicht jeder Vulkanausbruch schafft durch Aufschüttung loser Auswürflinge einen Berg. Es gibt, wie wir gesehen haben, auch rein verwüstende und vernichtende Ausbrüche, wie der des Tarawera auf Neuseeland von 1886 und des Bandai auf Nippon von 1888, deren Ergebnis ein gewaltiger Minentrichter von meist ganz unregelmäßiger Gestalt ist. Der herausgeschleuderte vulkanische Schutt ist dann oft über Tausende von Quadratkilometern zerstreut worden. Stand ein Vulkan an der Ausbruchstelle, so bildet sich der Kessel in ihm und spätere Explosionen setzen seine weitere Zerstörung und Umgestaltung fort. Solche oft sehr umfangreiche Einsturzbecken, in denen sich später durch erneute Aufschüttung unter Umständen wieder ein Vulkankegel bilden kann, bezeichnet man mit einem spanischen Worte der Kanarier, das Kessel bedeutet, als Caldera, und Berge, die einen solchen durch Ausblasung entstandenen Vulkankessel besitzen, als Calderaberge. Diese Bezeichnung rührt von dem mächtigen, nicht weniger als 20 km im Durchmesser haltenden, von 1600 m hohen steilen Wänden umgebenen, durch Ausblasung kesselförmig gewordenen alten Krater der kanarischen Insel Palma her. Auf Tenerife liegt ein Riesenkessel von 185 qkm Fläche am Fuße der Doppelvulkane Feyde und Viejo, dessen Boden Bimsteine, Lapilli und abgestürzte Trümmer der steilen Wände bedecken. Kein so reiner Kessel trotz seiner steilen Wände ist das 31 qkm große, gegen das Meer zu ausgeblasene Val del Bove am Ätna. Auf Réunion sind sogar zwei Kessel mit zwei später aufgeschütteten Kraterkegeln durch eine Wiederholung derselben Ausblasung in einander geschoben worden.

Sprenglöcher von geringem Umfang, die oft röhrenförmig, wie ausgestanzt, in die Erde hineinführen und meist von dem herausgeworfenen Schutt trichterförmig umgeben sind, nennt man Maare. Ihren Namen haben sie von den großen trichterförmigen Gruben, den interessantesten

vulkanischen Bildungen der Vordereifel, deren Durchmesser zwischen 1400 m, wie beim Manderfelder Maar bei Manderscheid, und 60 bis 70 m schwankt, ja in zahlreichen Fällen, die dann als „Hütschen" bezeichnet werden, bis auf kaum 1 m hinabgeht. Das wie fast alle diese trichterförmigen Gruben jetzt mit Wasser gefüllte Pulvermaar ist fast kreisförmig und mißt 700 m im Durchmesser. Alle diese Maare sind vulkanische Explosionstrichter, die durch gewaltige Dampfexplosionen zur Miozänzeit in die alten, meist aus Tonschiefern devonischen Alters bestehenden Sedimentschichten ausgeblasen wurden, wobei überhitzte Gase und Wasserdämpfe nur wenig Asche und Schlacken mit emporschleuderten, die nun teils in den Kessel zurückfielen, teils über seine Ränder hinausgeworfen wurden. Bei manchen fehlt aber auch der niedrige Schlackenkranz um die Öffnung herum und nur Bruchstücke der durchbrochenen Sandsteine oder Schiefer sind darum angehäuft. Ja bei einigen fehlt auch dieser nichtvulkanische Schuttkranz, indem die sie ausblasenden Dampfexplosionen so stark waren, daß der beim Durchschlagen der Explosionsröhre entstandene Schutt weit weggeschleudert wurde. Ein Maar, von dem ganz ausnahmsweise sich ein Lavastrom ergoß, ist der bekannte Laachersee, aus dem einst der Lavastrom von Niedermendig herausfloß.

Fig. 68. Maar in der Eifel.

Durch die Gewalt explodierenden Wasserdampfes und anderer Gase sind oft nur einzelne Schlote ausgeblasen worden. So der 250 m tief durch Kalkstein geschlagene Maar von Con Butt in Arizona, der einen Durchmesser von 1400 m besitzt und von einem 70 m hohen Walle herausgeschleuderter Gesteinstrümmer umgeben ist. Den Gegensatz zu solchen vereinzelten, aber dafür großen Ausblasungen bilden zahlreich beieinanderliegende, aber nur ganz winzige Schlotbildungen. Ein klassisches Beispiel für diese letzteren, die allerdings mit nachträglich ausfließendem Magma erfüllt wurden, sind die von W. Branco zuerst

nachgewiesenen 125 tufferfüllten Ausbruchsröhren in der Umgebung von Urach in der Schwäbischen Alb, die das größte bis jetzt bekannt gewordene Maargebiet der Erde darstellen.

In der Regel sind solche durch die unwiderstehbare Wucht überhitzten Dampfes durch dicke Schichten der Erdrinde geschlagene Ausbruchsschlote mit nachfließenden Magma gefüllt worden, das indessen oft von sehr merkwürdiger Beschaffenheit ist. So finden wir in den Diamantbezirken von Kimberley in Südafrika solche vulkanische Explosionsröhren mit einem mehr oder weniger zersetzten bläulich-grünen Gesteine erfüllt, das man wegen seine Farbe als **Blaugrund** bezeichnet. Es besteht aus einem wasserhaltigen, weichen Magnesiasilikate, das in bezug auf chemische Zusammensetzung dem Serpentin nahe kommt und in welchem neben festeren Brocken mit heraufgerissener Felsen und Mineralien verschiedener Art auch die so hoch geschätzten Diamanten gefunden werden. Diese Diamanten bestehen bekanntlich aus reinem Kohlenstoff, der nach den Versuchen von **Henri Moissan** in Paris bei der sehr langsamen Abkühlung von kohle- und eisenhaltigen Silikatenschmelzen unter hohem Druck auskristallisiert. Obschon sein Vorkommen an primärer Lagerstätte ausschließlich auf diese durch vulkanische Prozesse ent-

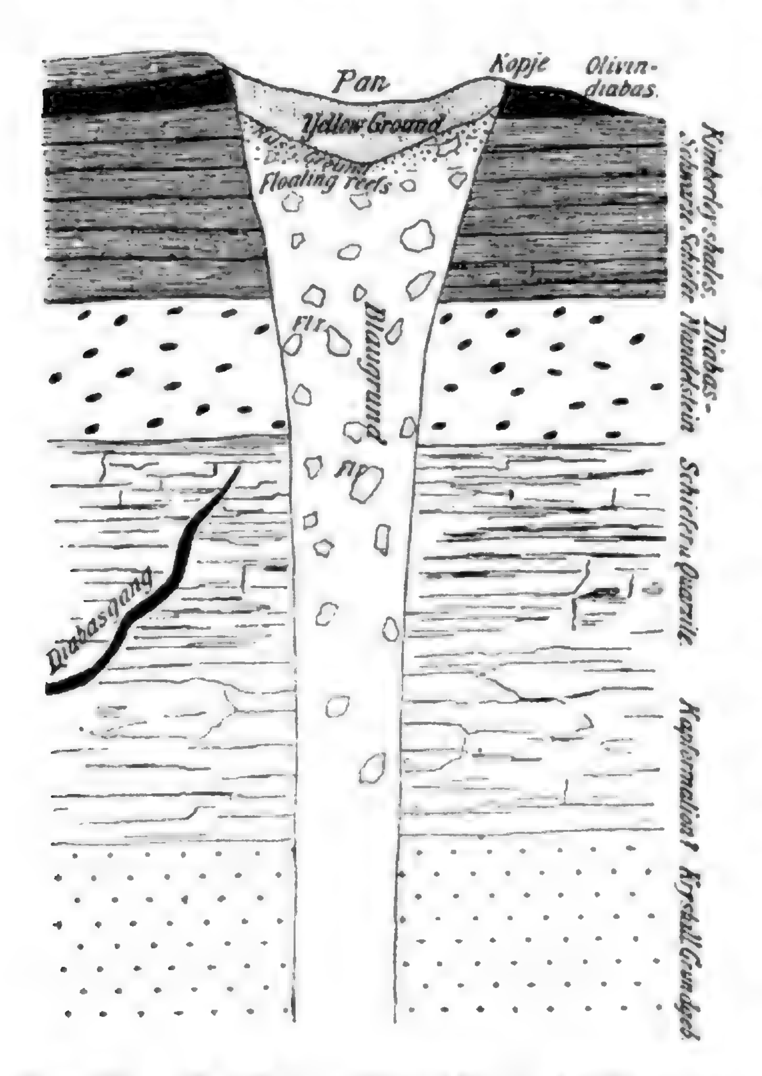


Fig. 69. Vertikaler Längsschnitt durch einen **diamantenführenden Blaugrund-Trichter** bei Kimberley in Südafrika. In 90 m Tiefe ist die durch den vulkanischen Ausbruch ausgeblasene und dann mit dem durch seine Zersetzung den Blaugrund liefernden Magma ausgefüllte Röhre noch etwa 200 m breit. Die Floating reefs bedeuten große Blöcke von härterem, unzersetztem vulkanischem Material. (Nach G. Gürich.)

standenen Blaugrundtrichter beschränkt ist, zweifeln einige Forscher an seiner Entstehung durch Auskristallisieren von Magma in der Erdtiefe, da er bisweilen, allerdings durch strömendes Wasser verschleppt, in angeschwemmtem Grunde auf sekundärer Lagerstätte gefunden wird. Doch mit Unrecht. Heute wissen wir des Bestimmtesten, daß der Diamant ein vulkanisches Produkt ist; denn man hat ihn vor kurzem in Neu-Süd-Wales in seinem unverwitterten Muttergestein angetroffen, der, wie die genaue Untersuchung ergab, aus einer als Dolerit bezeichneten basaltischen Lava besteht. Es ist, als ob dieser aus der heißen Erdtiefe stammende Edelstein mit seinem infolge starker Lichtbrechung ungemein lebhaften Glanze uns Menschen, die wir uns mit ihm schmücken, an seine feurige Heimat erinnern wolle.

Manche der durch vulkanische Explosionen ausgeblasenen Röhren sind aber, wie gesagt, nicht mit nachdrängendem Magma erfüllt worden. Ein solcher ist der im Schwarzwald am südlichen Abhange des Höllentals bei Freiburg in Breisgau gelegene Alpirsbacher Schlot, der uns einige besonders wichtige Aufschlüsse gibt, so daß es sehr wohl lohnt, etwas näher auf seine Verhältnisse einzugehen. Er besteht aus einer durch mächtige Gneisschichten hindurchgeschlagenen Röhre von 25 bis 30 m Durchmesser und ist erfüllt mit einer als Breccie bezeichneten Masse von eckigen und scharfkantigen Gesteinstrümmern, die nachträglich mit einem von dem hindurchströmenden Sickerwasser abgelagerten kalkigen Bindemittel zu einem dichten Gesteine verkittet sind. Diese Breccie bildete sich dadurch, daß in den leeren vulkanischen Schlot Bruchstücke von allen einst darüberliegenden Schichten in buntem Durcheinander hineinfielen und ihn so allmählich ganz ausfüllten. Die in ihm gefundenen Gesteine umfassen von dem der ältesten Triaszeit angehörenden Buntsandsteine bis zum unteren Malm, also der jüngsten Juraformation, alle dazwischen liegenden Sedimente. Gegenwärtig fehlt aber hier dem Gneise bis auf 17 km Entfernung nach Osten jegliche Sedimentbedeckung. Nun wissen wir aber aus dem geologischen Aufbau der weiter östlich noch erhaltenen Sedimentdecke in wie mächtiger Entwicklung die verschiedenen Formationsprodukte hier um den Alpirsbacher Schlot übereinander gelegen haben müssen. Daraus können wir, wie der hervorragende Freiburger Geologe Steinmann aufs minutiöseste nachgewiesen hat, mit aller Bestimmtheit sagen, daß seit der Entstehung jenes mit den vulkanischen Ausbrüchen des Kaiserstuhles gleichaltrigen, in der Miozänzeit erfolgten Schlotdurchbruchs, an dieser Stelle 250 m Gneis und darüber noch wenigstens 500 m Trias- und Juraschichten, also zusammen 750 m Gestein durch

allmähliche Verwitterung hinweggeschafft wurden. Dazu bedurfte es sehr langer Zeiträume, deren Dauer wir einigermaßen abzuschätzen vermögen. Der als Nachfolger von Richthofen nunmehr nach Berlin berufene Wiener Geologe Albrecht Penck taxiert als Ergebnis seiner eingehenden diesbezüglichen Untersuchungen, daß es zur Abtragung eines Meters Landoberfläche mindestens 3000 Jahre bedürfe, um aber eine 750 m mächtige Gesteinsschicht zu denudieren, d. h. wegzuschaffen, war ein Zeitraum von wenigstens 2¹/₄ Millionen Jahren nötig. Nun ist aber dabei nicht in Berücksichtigung gezogen worden, daß während der 4 bis 5-maligen außerordentlich langen Schneebedeckungen der letzten Eiszeit die Erosion fast aufgehoben war und deshalb die tatsächlich verstrichene Zeit noch bedeutend länger, als obige Zahl angibt, gewesen sein muß. Uns Menschen scheint das ein enorm langer Zeitraum, aber nur für uns. Vom geologischen Standpunkte aus betrachtet ist es blos ein verschwindend kleiner Zeitabschnitt, der gegenüber den tausend und mehr Millionen Jahren, in denen sich nachweisbar Leben auf der Erde geregt hat, zu einem Augenblicke herabsinkt. Damals, als die Vulkaneruptionen hier erfolgten, lebte ja, wie wir an anderer Stelle ausführlich dargetan haben, in Mitteleuropa schon ein Vorfahre des Menschen, der aus Feuersteinen Werkzeuge, wenn auch ganz roher Art, verfertigte und damit kund tat, daß er die rein tierische Stufe bereits überwunden hatte.

Die meist aus ganz losem Material aufgeschütteten Vulkanberge sind, wie der sich in ihnen Luft verschaffende unterirdische Magmaherd, äußerst vergängliche Gebilde. An den Aschenkegeln arbeitet zunächst das fließende Wasser. Durch starkes Gefälle begünstigt, gräbt es sich immer tiefer einschneidende Rinnen in sie ein, die schließlich zu talartigen Einschnitten führen. Diese gehören zu den charakteristischen Merkmalen der Vulkane und werden allgemein in der Wissenschaft nach einem spanischen, ebenfalls der kanarischen Insel Palma entstammenden Worte als Barrancos bezeichnet. So müßte etwa die wissenschaftliche Beschreibung des Kaiserstuhles im badischen Breisgau kurz folgendermaßen lauten: „Der Kaiserstuhl ist ein Ringgebirge mit einer zentralen Caldeira und einem westlich davon auslaufenden Barranco."

Mit der Zeit werden die durch Erosion entstandenen Taleinschnitte immer breiter und die sie einfassenden Höhen immer niedriger, bis schließlich die ganze Aufschüttungsmasse hinweggetragen oder doch bis auf wenige kompakte, der Verwitterung länger Widerstand leistende Lavagänge oder -Kuppen eingeebnet ist.

Während der ganzen, ungeheuer langen Entwicklungsgeschichte der Erde sind je und je, bald hier, bald dort glühendflüssige Magmen aus dem Erdinnern hervorgebrochen, haben mit ihren Laven kleinere oder größere Flächen überschwemmt oder, wenn diese infolge des überreichen in ihnen enthaltenen hochgespannten Wasserdampfes und anderer Gase beim Gelangen an die Oberfläche zu Sand und Asche verspratzten, Berge aufgebaut. Schreiten wir von der Gegenwart in die Vergangenheit zurück, so treffen wir überall und zu allen Zeiten Spuren von Vulkanen,

Fig. 70. Tropische Landschaft mit erloschenen und teilweise abgetragenen Vulkanen in Form von spitzen Andesitkegeln bei Kebur auf Südsumatra. Im Vordergrund der Fluß Lematang. Nach Photogramm von Dr. A. Tobler.

die denselben Aufbau wie die heute noch vor unseren Augen entstehenden zeigen. Aber nur unter schützenden Decken, die sie vor der Zerstörung durch Abtragung bewahrten, konnten sie uns selbst aus uralten Zeiten erhalten bleiben. So konnten beispielsweise silurische Vulkane von vesuvähnlichem Typus, d. h. in Wechsellagerung von porösem Tuff und harter darübergeflossener Lava, durch einen Zeitraum von vielen Millionen Jahren hindurch sich in Schottland bis in die Gegenwart erhalten.

Wo ältere und jüngere Vulkane beisammenliegen, sind stets die höchsten als die jüngsten auch diejenigen, welche die schönste Kegelform aufweisen; die niedrigeren, älteren sind im Vergleich mit ihnen traurige Überreste

Digitized by Google

und Ruinen, indem sie durch ihren lockeren Aufbau der Abtragung, durch die Atmosphärilien sehr wenig Widerstand entgegensetzen und deshalb verhältnismäßig rasch abgetragen werden. Aus diesem Grunde ist es durchaus nicht zu verwundern, daß von allen irgendwie älteren Vulkanen stets nur die in die Tiefe führenden, mit erstarrtem Magma angefüllten Schlote erhalten geblieben sind, deren Inhalt um so schöner und vollständiger auskristallisieren konnte, je langsamer er in der warmen Erdtiefe sich abkühlte. Solcher Vulkanschlote gibt es unzählige. Aber genaueres über die Abtragung der Vulkane lehren sie uns nicht. Da müssen wir schon Vulkane aufsuchen, die so jungen Datums sind, daß sie noch nicht ganz abgetragen werden konnten. Ein solcher Überrest eines einst ganz gewaltigen Vulkanes, der vor etwa zwei Millionen Jahren seine Tätigkeit eingestellt haben mag, und seither der Abtragung durch die Erosion verfiel, sind die Euganeen in Venetien.

Da treffen wir am Südfuße der Alpen einen zur Zeit ihrer Hauptaufrichtung im Miozän an einer Bruchspalte hervorgequollenen Vulkanherd, der einst einen mindestens so gewaltigen Vulkanriesen trug, wie wir ihn heute in dem 3313 m hohen und ein Areal von mindestens 130 km Umfang einnehmenden Ätna auf Sizilien sehen. Dieser Riese ist inzwischen durch die Verwitterung so weit abgetragen worden, daß wir an seiner Stelle heute nur noch die kleine Hügelgruppe der Euganeen südwestlich von Padua finden. Der höchste ihr zugehörende Berg, der Monte Venda, ist 533 m hoch. Im Süden und Norden bestehen sie aus Hügeln geschichteter Ablagerungen des Jura, der Kreide und des älteren Tertiärs, welche häufig aufgelagerte Kuppen von Trachyt tragen. Das Zentrum dieses Gebietes nehmen Trachyttuffe ein, welche von zahlreichen Trachytgängen durchzogen sind, von denen einige bis zu den am Rande stehenden Sedimentärhügeln hinausreichen. Die Gänge sind der großen Mehrzahl nach so geordnet, daß sie in ihrer Richtung strahlenförmig gegen einen im Zentrum der ganzen Gruppe am östlichen Ende des Monte Venda gelegenen Punkt zusammenlaufen. Der Monte Venda selbst und seine Umgebung besteht aus Tuffen, und aus diesen ragen die größeren und mächtigeren Gänge, die aus festem Trachyte bestehen, als langgestreckte, oft sehr steile Bergkämme hervor. So besteht der schroffe Bergrücken des Monte Pendise, der die Trümmer der für uns Deutsche so denkwürdigen, der Hohenstaufenzeit angehörenden Ezzelinsburg trägt, aus einem Radialgange, ein anderer trägt das Kloster Rua, ebenfalls ein in die Gegenwart hineinreichendes Altertum, und in dieser Weise gruppiert sich eine ganze Anzahl von stärkeren und

schwächeren Gängen aus harter Lava um den Zentralpunkt am Monte Venda.

Vergegenwärtigen wir uns nun, daß zur Miozänzeit hier ein so gewaltiger Vulkan, als der Ätna heute ist, tätig war, so wird es uns nicht schwer fallen, die Schicksale dieses Vulkanriesen abzulesen, seit der Zeit, da er aufhörte, Feuer und Asche zu speien. Über dem Zentralpunkte des Monte Venda stand einst der wesentlich aus aufgeschütteten Tuffmassen bestehende Hauptkegel, der gelegentlich auch Lavaströme aus dem Zentralkrater und aus parasitischen Nebenkratern an den Flanken des Berges, wie wir sie in großer Zahl am Ätna beobachteten, ausfließen ließ. Diese letzteren erhielten ihre Laven aus dem zentralen Vulkanschlote dadurch, daß in den Seiten des Berges sich Spalten bildeten, durch welche das geschmolzene trachytische Magma austrat, und in denen es beim Schlusse der Eruption durch allmähliches Erkalten erstarrte.

Zunächst wurden an dem riesigen, seine Tätigkeit einstellenden Kegel die losen, tuffigen Aufschüttungsmassen durch Verwitterung abgetragen. Die dazwischen liegenden harten Lavaströme leisteten zwar der unablässig an der Niederlegung des Berges tätigen Erosion einen bedeutenden Widerstand. Da sie aber auf loser Aufschüttungsgrundlage ruhten, so wurden sie allmählich unterwaschen, brachen zusammen und ihre Trümmer wurden von den bei starken Regengüssen rasch die Bergabhänge hinabeilenden Regenfluten weitergeschleppt, aneinder gerollt, zu Sand und Schlamm zerrieben und schließlich durch die Bäche und Flüsse dem Meere zugetragen. Anders dagegen verhielten sich die vom Zentrum entfernteren Gänge erstarrter Lava, die nicht mehr auf losem vulkanischem Materiale, sondern auf den festen, älteren Sedimentärgesteinen ausgebreitet lagen. Hier haben sich die sonst überall auch im Zentrum verwitterten und abgetragenen Teile der Lavaströme in Form von strahlig auseinanderlaufenden Trachytgängen erhalten, die auf den höheren Partien der mesozoischen und tertiären Sedimente an den Rändern des niederen Gebirges liegen.

Im westlichen Teile der Euganeen hat sich beim Weiler Fontana Fredda, wie bereits im vorigen Abschnitte erwähnt wurde, eine Trachytintrusion in Form eines Lakkolithen nachweisen lassen. Solche mächtige Brocken von langsam erstarrten, äußerst harten Erstarrungsgesteinen leisten der Witterung und Abtragung durch strömendes Wasser natürlich viel größeren Widerstand als die losen Aufschüttungsmassen, welche die Hauptmasse der gewöhnlichen Vulkankegel ausmachen. So ist beispielsweise der Iztaccihuatl auf dem Hochlande von Mexiko ein durch Her-

vorquellen von ungeheuren Mengen von Magma aus einer Bruchspalte der Erdrinde erstarrter kompakter Haufen von festem Erstarrungsgestein, der durch Verwitterung mehr einem durch steile Faltung entstandenen Gebirgsmassive als einem Vulkane gleicht. Außer der einfressenden Wirkung des fließenden Wassers hat auch die, wenn auch langsam, so doch wuchtig wirkende Aushobelung durch hinabgleitendes Gletschereis mit an der Gestaltung seines für einen Vulkan so merkwürdigen zackigen Kammes mitgewirkt. Auch in der Insel Mauritius, die sich hinter

Fig. 71. Vulkanische Schlammsprudel von Wakarewarewa im Innern der Nordinsel Neuseelands. Nach einem Photogramm von Dr. J. Hundhausen.

einem Kranze von grünen Küstenbergen verbirgt, würde niemand ein vulkanisches Produkt vermuten, und doch ist die ganze große Insel nichts als ein schildförmig gewölbter Vulkanberg, den ein bis auf wenige unscheinbare Reste abgetragener uralter Kraterrand umgibt.

Der Vulkanismus ist, wie wir am Anfang dieses Abschnittes dargetan haben, nur eine Folgeerscheinung der Gebirgsbildung, indem dabei an den einsinkenden Bruchstellen nicht sehr tief in der Erdrinde befindliche glutflüssige Massen emporquellen. Schon der reiche Gehalt an spezifisch leichter Kieselsäure deutet auf die oberflächliche Lage der Herde, denen sie entspringen. Auch der Schmelzpunkt der Lava zwingt uns nicht,

Digitized by Google

ihren Ursprungsort tiefer als 40 bis 60 km zu setzen. Dort sind wir sehr nahe am feuerflüssigen Kerne der Erde, indem wir in wenig mehr als 60 km Tiefe auf eine Gesteinstemperatur von 2000° C. und einen Druck von mindestens 15000 Atmosphären = 15000 kg auf den qcm stoßen. Aber auch oberhalb, in der noch als starr zu bezeichnenden Erdkruste müssen lokale Magmaherde liegen, deren Inhalt um so basischer und spezifisch schwerer ist, je tiefer sie liegen. Bei dem ganz kolossalen Druck, unter dem sie infolge der fortschreitenden Abkühlung und der damit einhergehenden Zusammenziehung des Erdkörpers stehen, sind sie bei einer Temperatur, bei welcher sie an der Erdoberfläche noch flüssig geblieben wären, starr geworden. Diese Erstarrung ist aber bei der großen Hitze von gegen 2000° C., die dort unten herrscht, eine sehr bedingte. Wird dieser gewaltige Druck an irgend einer Stelle vermindert, so wird das Magma wieder schmelzflüssig und steigt den in der Erdrinde sich beim Schrumpfen der Kugel bildenden Einbruchs- und Verwerfungsspalten entlang nach oben.

Es ist also zunächst die lokale Druckverminderung, welche das Magma nicht nur verflüssigt, sondern auch nach oben preßt, so daß es durch die infolge Spaltenbildung an Brüchen oder sonstwie gelockerten Schichten der Erdrinde durch den Seitendruck emporquillt. Diese Emporhebung des Magmas wird unterstützt durch die gewaltige Menge von hochgespannten Gasen, vor allem Wasserdampf, welche darin durch den auf ihnen lastenden Druck aufs höchste zusammengepreßt, nicht zu entweichen vermögen, beim Nachlassen des Druckes aber sofort sich zu befreien suchen und so mithelfen, das Magma nach oben zu schieben. Ist der Druck der nach oben gelangenden feurigflüssigen Massen soweit herabgesetzt, daß diese hochgespannten Gase frei werden, so verursachen sie jene gewaltsamen Explosionen, die ganze Berge von aufgeschütteter Asche in die Luft blasen oder sich mächtige Schlote in den obersten Gesteinsmantel der Erde hindurchschlagen. Sind nun die Gase im ersten Paroxysmus frei geworden, so fließt das nachfolgende Magma oft ganz ruhig aus, bis die Ausflußröhre verstopft wird. Dann bildet sich wieder ein höherer Gasdruck, der schließlich zu neuen gewaltsamen Durchbrüchen führt, die sich in Explosionen mit vorausgehenden Erdbeben kund tun.

Das vulkanische Magma ist also eine Silikatschmelze, die sehr viel flüchtige Stoffe wie Wasser, Kohlensäure, Verbindungen von Bor, Fluor, Chlor, Schwefel und anderen Elementen einschließt. Ihr Wasserreichtum

geht bis zu 10 und 12 Gewichtsprozenten. Dieses Wasser muß mit den anderen flüchtigen Stoffen beim Auskristallisieren des Magmas frei werden. Sobald an einer Stelle der ungeheure Druck in den schmelzflüssigen Massen nachläßt, suchen die Gase daraus zu entweichen, reißen dabei das Magma, das von ihnen ganz durchsetzt ist, mit und schleudern es als glühende Fetzen in die Luft oder, was noch häufiger ist, zerreißen dasselbe zu feinem Staub, eben der vulkanischen Asche. Es sind also die Gase, welche die vulkanischen Auswurfsstoffe mit sich reißen, das eigentlich Wesentliche beim vulkanischen Prozesse. Deshalb haben wir den Vulkanismus als einen die Erstarrung des Magmas begleitenden Entgasungsprozeß bezeichnet, der von Urzeiten an auf der Erde vor sich ging und noch beständig vor sich geht. Diesem Entgasungsprozeß, der allen erkaltenden Weltkörpern eigentümlich ist, weil er die Erstarrung aus Schmelzfluß erst ermöglicht, verdanken alle Meere, wie alles Wasser der Erde überhaupt, sowie auch der größte Teil der Atmosphäre ihre Entstehung. Weil eben diese Gase aus ihr entwichen sind, ist die an der Erdoberfläche erstarrte Lava gas- und wasserfrei. Nur wenn sie unter gewaltigem Drucke in größeren Tiefen der Erdrinde erstarren mußte, so enthält sie noch einen größeren oder kleineren Teil derselben in Form von Bläschen komprimiert in sich. Es sind dies die bekannten Flüssigkeitseinschlüsse, die man sehr zahlreich an Dünnschliffen von Granit und anderen in der Tiefe erstarrten Magmen findet. So hat Gautier in Paris durch eingehende Untersuchungen festgestellt, daß in einem Granitwürfel von 1 km Seitenlänge nicht weniger als 31 Millionen Tonnen, d. h. 31 Milliarden kg Wasser enthalten sind. Das ist eine so große Menge, daß ihr Fließen durch die Seine an Paris vorbei 12 Stunden gebrauchen würde. Indem nun der Granit in der Tiefe erstarrte, hat er diese Wassermengen mit den anderen Gasen als eine Art Mutterlauge beim Kristallisieren ausgeschieden, und weil sie dort unmöglich entweichen konnten, so suchten sie sich zwischen dem zuletzt auskristallisierenden Quarze Platz, so gut es eben ging. Dieser brauchte allerdings infolge des gewaltigen Druckes, unter welchem die betreffenden Gase ausgeschieden wurden, nur ein sehr bescheidener zu sein, weshalb auch die Bestandteile beim oberflächlichen Anblicke sich keineswegs dem Blicke aufdrängen.

Wo aber sonst die Gase nur immer entweichen können, geschieht es mit einer dem Drucke, unter dem sie stehen, entsprechenden Gewalt, nicht nur während, sondern auch nach dem vulkanischen Ausbruche. Dabei ist ihre Reihenfolge eine von der jeweilen herrschenden Temperatur ab-

hängige und vollkommen geregelte. Hat nämlich ein Vulkan die Hauptmenge der in ihm angesammelten Gase in der ersten Explosion, bei der es unter Umständen bleiben kann, oder in den verschiedenen darauffolgenden Explosionen freigegeben, so tritt er nach einer bestimmten Zeit in die ruhigere Solfatarentätigkeit, in welcher er mit den heißen Wasserdämpfen Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Schwefelsäure, Salzsäure, Salmiak, Eisenchlorid und andere chemische Verbindungen ausstößt. Auf einer späteren Stufe spielt dagegen die Emanation von Kohlensäure eine Hauptrolle. Damit ist der Vulkan in seine Mofettentätigkeit eingetreten. Kondensieren sich dabei reichliche Mengen von Wasser, so tritt die Kohlensäure in heißen Mineralsprudeln zutage. Fernerhin treten warme Quellen teilweise in Form von Geisirs, jeweilen aber mit reichem Gehalt an Mineralsalzen auf, bis schließlich völlige Erkaltung und damit dauerndes Aufhören der vulkanischen Tätigkeit eintritt.

Fig. 72. Waimangugeisir mit Solfataren und Fumarolen an der alten Vulkanspalte des Tarawera auf der Nordinsel von Neuseeland, auf der bis zum Jahre 1886 die berühmten Sinterterrassen am Rotomahanasee standen. (Nach einem Photogramm von Dr. J. Hundhausen.)

Dieselbe Reihenfolge beobachten wir bei der allmählichen Abkühlung der zutage tretenden Laven, in welchen zunächst ziemlich wasserdampfarme, aber sehr heiße Gasemanationen von etwa 500° C. Temperatur auftreten, die als trockene Fumarolen bezeichnet werden. Diese heißeste Phase bringt namentlich Chlor-, Fluor- und Bordämpfe neben verschiedenen Basen nach oben. Mit diesen entweichen aber auch oft große Mengen von Metalldämpfen, die sich beim Erkalten in Form von Erzen niederschlagen. Durch solche Sublimationen entstehen besonders häufig Zink- und Zinnerze in der Nachbarschaft von erkaltenden vulkanischen Ergüssen. Während in ihnen noch die wasserfreien Chlorverbindungen, besonders Chlornatrium oder Kochsalz, überwiegen, treten in den kühleren sogenannten sauren Fumarolen von 400 bis 300° C. große Mengen von Wasserdämpfen mit 1 pro Mille Salzsäure und fast ebensoviel schwefliger Säure vermischt auf. Dabei verschwinden die Gase der ersten Phase gänzlich. Ist die Abkühlung fortgeschritten, so entstehen daraus

Digitized by Google

bei etwa 100° C. ammoniakalische oder alkalinische Fumarolen, in denen vorherrschend salzsaures Ammonium mit etwas Schwefelwasserstoff in Verbindung mit ungeheuren Mengen von Wasserdampf austreten. Noch später, bei Temperaturen unter 100° C., gehen sie in die kalten Fumarolen über, die fast nur heißes Wasser mit etwa fünf Prozent Kohlensäure, seltener auch etwas Schwefelwasserstoff liefern. Endlich versiegt auch die Wasserausscheidung und wir haben nur noch fast reine Kohlensäurefumarolen vor uns, die wir als Mofetten bezeichnen.

Wie wir Menschen uns die letzten Äußerungen der ausklingenden vulkanischen Tätigkeit in Form von heißen Mineralquellen zu Heilzwecken und von kohlensauren Wässern zu Tafelzwecken nutzbar machen, so beuten wir gleicherweise auch die demselben Prozesse zu verdankenden Erzlagerstätten aus. Welche Bedeutung diese letzteren für uns haben, das braucht wohl nicht ausgeführt zu werden. Ist doch unsere ganze moderne Kultur auf deren Besitz gegründet. Wie schlimm wäre es mit unseren Industrien bestellt, wenn die vulkanische Tätigkeit nicht die tief im Erdinnern verborgen lagernden schweren Elemente, die verschiedenen Metalle, in Dampfform heraufbrächte und sie in Erzlagerstätten niederschlüge. Ohne die von den Vulkanen gelieferte Kohlensäure würde die Pflanzenwelt im vollen Sonnenlichte weder Stärkemehl, noch Zucker, noch Zellstoff, noch Öle, noch ätherische Verbindungen, noch irgend sonst einen der so überaus wichtigen Stoffe, die sie aufbaut, bilden können. Und mit ihrem Hungertode wäre natürlich auch das Leben aller Tiere und des Menschen besiegelt. Ja, ohne Kohlensäureproduktion durch die Vulkane hätten wir Europäer ein sehr ungemütlich kaltes Klima mit viel schrofferem Temperaturwechsel und lebten mehr oder weniger beständig in einer Art Eiszeit.

Schließlich sei noch als letztes wertvolles Geschenk der Vulkane der leicht verwitternden und eine überaus fruchtbare Erde liefernden Vulkanasche gedacht, mit welcher nach einem Ausbruche weite Strecken Landes gedüngt werden. Auch sie bedeutet eine wesentliche Bereicherung unserer Erdoberfläche mit kostbarem Nährboden, der schließlich der ganzen Lebewelt zugute kommt. So hat beispielsweise der Vesuv bei seiner letzten Eruption im April 1906 mehr als 500 Millionen Doppelzentner Magma hauptsächlich in Form von Asche ausgeworfen. Rechnet man nun, wie Prof. L. Stocklasa, auf eingehende Analysen derselben gestützt, jüngst in der Chemiker-Zeitung ausführte, für sie einen Gehalt von nur 0,1 Prozent Stickstoff in Form von Ammoniak — in vielen dieser Produkte ist aber der Stickstoffgehalt in Wirklichkeit ein viel größerer — so enthält die ganze ausgeworfene Menge mindestens 500000 Doppelzentner Stickstoff,

ein Quantum, wie es jährlich in Form von Ammoniak und Salpetersäure nicht einmal in ganz Deutschland verbraucht wird. Und erst die ungeheuren Mengen Kali, Phosphorsäure, Kalk und Magnesia, die auch sehr wichtige, leicht assimilierbare Nahrungsstoffe der Pflanzen sind! Ihre Zufuhr ist eine so reichliche, daß die Kulturländereien auf solchem vulkanischen Boden nie gedüngt zu werden brauchen und trotzdem Jahr für Jahr die reichsten Ernten tragen. Gerade die Gegenden um den Vesuv und Ätna sind die fruchtbarsten Gebiete von ganz Europa. Wie Sizilien lange die Kornkammer der alten Römer war, so war für sie Kampanien die regio felix, die nach Plinius dreimal im Jahre Ernten gab und mehr Olivenöl lieferte, als alle von den Römern unterjochten Länder zusammen genommen.

Es ist also in Berücksichtigung dessen der Vulkanismus ein sehr notwendiges Glied in der endlos sich abrollenden Kette von Naturvorgängen, an deren regelrecht verlaufendem Ineinandergreifen unser Dasein hängt. Mag er sich auch oft sehr brutal äußern und gelegentlich die größten Opfer an Gut und Blut von uns fordern, so wollen wir doch dankbar sein, wenn er sich recht fleißig geltend macht. Denn es liegt darin eine für uns sehr wertvolle Garantie dafür, daß das Leben noch auf sehr lange Zeiten hinaus auf der Erde gewährleistet ist. Der Vulkanismus zerstört zwar viel Leben, aber er tut es nur, um der Gesamtheit wieder bessere Lebensbedingungen zu schaffen. An sein Vorhandensein ist das Leben gebunden und sein Aufhören würde für die Erde nichts anderes als baldigen Tod der gesamten Lebewelt bedeuten.

VIII.

Die Schichtgesteine.

Sobald die Temperatur der einst feurig-flüssigen Erde tief genug gesunken war, erstarrte die Erdoberfläche als eine, wie wir gesehen haben, vorzugsweise aus Silikaten d. h. kieselsauren Verbindungen bestehende Kruste, welche mit fortschreitender Erkaltung immer dicker wurde. Diese ältesten Erstarrungsgesteine entziehen sich allerdings vollständig unserer Beobachtung, indem sie durch in der Folge immer wieder aufs neue ergossene jüngere Erstarrungsgesteine bedeckt wurden. Als eine der ältesten dieser jüngeren Formen haben wir vor allem den Gneis zu betrachten, der in ungeheurer Verbreitung und Mächtigkeit auf der ganzen Erde vorkommt und überall die Basis bildet, auf welcher die allerältesten, meist durch Druckwirkung nachträglich hochgradig veränderten Sedimentgesteine aufruhen.

Die Entstehung dieser Sedimentgesteine haben die Erstarrungsgesteine durch die Verwitterung ermöglicht, der sie nach ihrer Bildung durch die Atmosphärilien ausgesetzt waren. Denn, nachdem die Temperatur an der Oberfläche der erkaltenden Erde unter die kritische Temperatur des Wassers d. h. etwa 365° C. gesunken war, bildeten sich die ersten Niederschläge aus dem Magma ausgeschiedenen kochenden Wassers, aus deren Ansammlung in den sich bildenden Vertiefungen der Erdrinde die ersten warmen Ozeane entstanden. Mit der fortschreitenden Abkühlung der Erdoberfläche entstunden daraus allmählich kalte Meere, welche den Verlust an Wasser, den sie durch die Infiltration der Erdrinde damit als sogenannte Bergfeuchtigkeit erlitten, durch die beständige Wasserdampfzufuhr von seiten der Vulkane ersetzt bekamen. Und mit diesem Wasserdampf, beziehungsweise heißen Wasser, gelangten auch die verschiedenen Mineralien, vorzugsweise das Chlornatrium oder Kochsalz,

das den Gesteinen der oberflächlichen Erdrinde ursprünglich fremd ist, in das entstehende Weltmeer als ein Ausdruck der durch die fortschreitende Abkühlung des Erdkörpers bedingten andauernden Entgasung.

Würde man sämtliche Ozeane unseres Planeten eindampfen, so würden die zuvor darin gelöst gewesenen, nunmehr zur Ausscheidung gelangten Salze eine Schicht bilden, welche um die ganze Erdkugel ausgebreitet dieselbe 40 m hoch bedecken würde. Von dieser Salzschicht nähme das vorzugsweise den salzigen Geschmack des Meerwassers bedingende Kochsalz allein etwas über 31 m ein, ein Maß, das wir uns nach dem jüngst in Berlin verstorbenen berühmten Geographen F. von Richthofen aus der ihm fast genau entsprechenden Höhe des Königlichen Schlosses in Berlin leicht versinnbildlichen können. Um das darin enthaltene Natrium zu liefern, wäre nach demselben Autor die vollständige Entziehung dieses Elementes aus Erdrindenmassen erforderlich gewesen, welche um mehr als das Dreifache das Volumen sämtlicher über das Meer aufragender Festlandsmassen überträfen, wenn man nämlich den mittleren Natriumgehalt aller Gesteine zu 2,38 Gewichtsprozenten annimmt. An Gewicht wird dieses Element aber noch weit durch das mit ihm verbundene Chlor übertroffen, das noch sehr viel weniger als das Natrium aus den Gesteinen der festen Erdoberfläche herrühren kann, da es in der völlig verschwindenden Menge von kaum 0,01 Gewichtsprozent an deren Zusammensetzung teilnimmt.

Das Kochsalz und die übrigen im Meere aufgespeicherten Salze sind, wie ja auch das Wasser selbst, in dem sie gelöst sind, durch die vulkanische Tätigkeit im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung an die Erdoberfläche gebracht und von hier aus durch die dem Meere zueilenden Niederschlagswässer in die Ozeane transportiert worden, wo sie verblieben und sich unter gewissen Bedingungen, von denen noch später die Rede sein soll, in mächtigen Salzlagern am Boden von stark verdampfenden, abgeschlossenen Meeresbecken mit niedriger Eingangspforte absetzten.

Wie das fließende Wasser die heutige Erdoberfläche auslaugt, hat es schon die ältesten kristallinischen Erstarrungsgesteine ausgelaugt und die darin enthaltenen Salze dem Meere zugeführt. Und in diesem verhältnismäßig mehr Sauerstoff als Stickstoff aus der Atmosphäre absorbierenden Meerwasser haben sich dann unter uns heute unbekannten Bedingungen die ersten Lebewesen entwickelt. Die Reste dieser ältesten Seetiere und Seepflanzen, wie auch die bis zur kambrischen Zeit

zurückreichenden Salzlager, lassen uns für die ältesten Zeiten, aus denen Lebensreste auf uns gekommen sind, ein ebenso salzreiches Meer, wie wir es heute beobachten, annehmen.

In dieses Meer sind aber neben den löslichen Salzen auch die unlöslichen Stoffe, welche das fließende Wasser in um so größerem Maße, je bedeutender sein Gefäll ist, mitschleppt, eingeschwemmt worden und haben sich darin als Sedimente gesammelt. Indem sich die Sedimente aufeinanderhäuften und damit einer Druckwirkung ausgesetzt wurden, sind sie in der Folge zu Sedimentgesteinen erhärtet. Diese Pressung war aber nicht nur eine von oben nach unten, d. h. gegen den Erdmittelpunkt zu gerichtete, sondern auch eine seitliche, indem die Erdkruste mit den darauf lagernden Gesteinsschichten zusammenschrumpfte, ungefähr wie die Haut eines eintrocknenden Apfels sich in Runzeln legt, da sie infolge ihrer Starrheit nicht anders auf die Abnahme des von ihr umschlossenen Inhalts reagieren kann. Dadurch entstanden die ersten in Falten gelegten Gebirge und alle Landerhöhungen überhaupt.

Zu je höheren Gebirgen in der Folge das Land gefaltet wurde, um so energischer arbeitete die Verwitterung und das fließende Wasser an der Abtragung alles über den Wasserspiegel hervorragenden Landes. Dabei transportierten die Flüsse den Detritus, d. h. die Produkte des Zerfalls, in die Wasseransammlungen, in welche sie sich ergossen und lagerten sie dort als geschichteten Bodensatz, den man als Sediment bezeichnet, ab. Um den Prozeß der Sedimentation besser zu würdigen, ist vor allem zu bedenken, daß der Niederschlag der im Wasser schwebenden Verunreinigungen im Salzwasser des Meeres 15mal schneller als im Süßwasser der Seen vor sich geht.

Wie die Entstehung aller Gebirge ein Resultat der fortschreitenden, durch Abkühlung bedingten Schrumpfung der Erdkruste ist, so sind ihrerseits die Formen der Berge ein Produkt der beständig an ihnen tätigen Verwitterung und Erosion oder Zernagung und Wegspülung durch Wasser. In der Ebene oder in sanftwelligem Hügelland bleiben die Produkte der Verwitterung fast ganz an den Stellen liegen, wo sie entstanden, und bilden dann eine Kruste, welche die darunter liegenden Gesteinsschichten vor weitergehender Zerstörung durch Verwitterung schützt oder diese doch bedeutend verzögert. In Gebirgsgegenden jedoch ist dies vollkommen unmöglich, weil dort die Gehänge zu steil sind, die herauswitternden Gesteinstrümmer infolgedessen nach unten gleiten und

sich erst am Fuße der Berge in mächtigen Schutthalden sammeln. Die Gesteine der Bergwände aber werden immer wieder aufs neue abgedeckt und der zerstörenden Wirkung der Atmosphärilien ausgesetzt.

Wie der Name Verwitterung schon anzeigt, ist es neben dem Wasser das Wetter überhaupt, besonders die Aufeinanderfolge von Frost und Hitze, dann auch von Feuchtigkeit, Trockenheit und Wind, welche alle kräftig an der Zersprengung, Auflösung und Abtragung der Felsen im Gebirge wie in der Niederung arbeiten. Auch der bei der gewaltsamen Ausgleichung entgegengesetzter elektrischer Ladungen auftretende Blitz sei hier als zerstörendes Mittel nicht vergessen. Wie Blitzröhren im gelockerten Boden des Flachlandes häufig sind, finden sich nicht selten auf Berggipfeln durch Blitz verglaste und zersprengte Felsen. Doch kommt der Zerstörung durch diese äußeren Agentien eine fast allen Gesteinen innewohnende, oft ganz rätselhafte Neigung zum Zerfall entgegen. Schon sehr dichte und feste Erstarrungsgesteine, wie Granit und Basalt, sehen wir oft in Schalen sich auflösen, selbst dann, wenn die Zersetzung in ihnen noch nicht weit fortgeschritten sein kann. Ähnliches beobachten wir an anderen Erstarrungsgesteinen, die bisweilen in verhältnismäßig kurzer Zeit zu Schutthalden auseinandergesprengt werden.

Je dichter ein Gestein ist, um so länger bewahrt es im allgemeinen seinen Zusammenhang. So gehen Sedimentgesteine, besonders wenn sie zu Schiefern gepreßt wurden, leichter zugrunde als kompakte, dichte Erstarrungsgesteine. Besonders rasch zerfallen spaltenreiche Schiefer, deren Schichten so einfallen, daß sie dem Wasser bequeme Wege öffnen. Es gibt nämlich kein Gestein, das ganz frei von Klüften, Fugen und Spalten ist. Wenn wir dieselben darin auch nicht offen finden und sehen können, so sind sie doch im Gesteine vorgezeichnet als Richtungen, in denen der feste Zusammenhang sich leichter löst und in welchen das überall eindringende Wasser, die Bergfeuchtigkeit, vorzugsweise eindringt.

Je leichter Luft und Wasser zu den Gesteinen Zutritt haben, um so beschleunigter ist ihr Zerfall. Schon durch den starken Temperaturwechsel wird das Gefüge der Gesteine gelockert, indem sich ihre Masse abwechselnd in der Hitze ausdehnt und in der Kälte zusammenzieht. In Hochgebirgen und Wüsten sind gewaltige Schuttmassen das Ergebnis dieser Verwitterung durch ausgiebigen Temperaturwechsel. Und zwar kommt es dabei nicht sowohl auf die jährlichen Wärmeschwankungen, als ganz besonders auf die oft sehr bedeutenden Wärmeunterschiede zwischen Tag und Nacht an, die bei uns etwa 60 cm tief in der Erde sich bemerkbar machen. Bei einer Tageserwärmung bis auf 70° C. an der

Oberfläche dunkler, die Sonnenwärme stark absorbierender Steine folgt in Gegenden ohne Wolkenbedeckung, wie sie die Wüsten und Steppenländer aufweisen, eine nächtliche Abkühlung auf 20 bis 25° C. Dieser beträchtliche Temperaturwechsel muß ja unbedingt die innere Struktur der Felsen, die ihm ausgesetzt sind, lockern und sie mit der Zeit zum Zerfall bringen.

Noch viel wirksamer als der überall mehr oder weniger sich geltend machende Wechsel zwischen Wärme und Kälte arbeitet aber an der Zertrümmerung der Gesteine und an ihrer Auflösung zu Schutt die wechselweise Ausdehnung und Zusammenziehung des in sie eingedrungenen Wassers; denn alle Gesteine nehmen Wasser in sich auf und halten dasselbe in ihrem Innern fest. Es beträgt die Menge desselben durchschnittlich viel mehr als 1/24000 ihres Gewichtes und deshalb wird, auch wenn die Vulkane immer neue Mengen liefern, die Wassermenge an der Erdoberfläche, die im Ganzen nur etwa 1/24000 der Erdmasse beträgt, schließlich einmal bei fortschreitender Abkühlung der Erde und zunehmender Durchtränkung der sie bildenden Gesteine mit Bergfeuchtigkeit versiegen. Auf dem Wege dazu fanden wir Mars, der sehr viel älter als die Erde ist, und unseren Mond, von dem wir sahen, daß er infolge seiner verhältnismäßigen Kleinheit trotz lange Zeit in sehr energischer Weise auf ihm tätig gewesenem Vulkanismus seine oberflächlichen Wasseransammlungen schon ganz eingebüßt hat. Mit dem Aufhören der vulkanischen Tätigkeit, die eben durch Ausstoßen von neuen Wassermengen der dieselben absorbierenden Wirkung der Bergfeuchtigkeit entgegenwirkt, war das Schicksal unseres Satelliten, schließlich all sein Oberflächenwasser zu verlieren, besiegelt.

Entstehen schon durch den bloßen Temperaturwechsel im Innern der trockenen Gesteine Spannungen, welche ihr Gefüge lockern, so wird dies noch ganz ungeheuer verstärkt bei solchen, die in ihren Fugen mit reichlichen Mengen von Wasser durchtränkt sind. Nicht nur hat das Wasser einen anderen Ausdehnungskoeffizienten als das Gestein, sondern es ist bei + 4° C. am dichtesten und dehnt sich sowohl bei Erwärmung über diese Temperatur hinaus, als auch bei Abkühlung unter dieselbe aus. Nehmen wir sein Volumen bei + 4° zu 1000000 an, so steigt es bei 0° auf 1000122 und bei + 8° auf 1000118. Vermöge dieser Eigenschaft geben 1000 Teile Eis beim Schmelzen 910 Teile flüssiges Wasser, das Eis schwimmt auf dem Wasser und Grundeis steigt vom Boden empor. Die Ausdehnung des Wassers, das überall in die feinen Spalten und Fugen der Gesteine dringt, macht sich besonders bei der Frostverwitterung der Gesteine sehr energisch geltend, indem es ihren

Zusammenhang lockert und sie schließlich ganz auseinandersprengt. In den Polargebieten, in den kalten und gemäßigten Zonen, sowie auf den Höhen des Gebirges im Sommer, wo die Temperaturen sehr oft, im letzteren Falle allnächtlich, um den Gefrierpunkt schwanken, ist diese Art von Verwitterung besonders wirksam. Sie ist es in erster Linie, welche mit der Zeit ganze Berge in Schutthalden verwandelt.

Dabei ist das in die Gesteine einsickernde Wasser durchaus nicht etwa eine chemisch indifferente Flüssigkeit. Es enthält zunächst die aus der Luft aufgenommenen Gasarten in sich gelöst. Zudem absorbiert es beim Passieren durch die von Pflanzenwachstum und der Tätigkeit der Verwesungs- und Fäulnispilze mit Kohlensäure imprägnierte oberste Bodenschicht auch diesen Körper und wird dadurch zu einer schwachen Säure, der außer Quarz und Tonerde keine chemische Verbindung widersteht. Ja sogar diese werden durch das mit Kohlensäure beladene Wasser besonders in der Wärme in Lösung gebracht und dann gelegentlich wieder ausgeschieden, wie die Quarztropfsteine und die Quarzkristalle in Hohlräumen, gelegentlich auch von Versteinerungen, beweisen. Was also für den Chemiker fast unlöslich ist, das ist für den Geologen sehr wohl, ja vielleicht sogar leicht löslich zu nennen.

Besonders vermehrt auch der Druck die Löslichkeit im kohlensauren Wasser. So hat Pfaff experimentell nachgewiesen, daß dadurch 140 g Bergkristall, also reiner Quarz d. i. Kieselsäure bei gewöhnlicher Temperatur unter 290 Atmosphären Druck in 4 Tagen 4 mg an Gewicht durch Auflösung einer entsprechenden Masse in der ihn umspülenden Flüssigkeit verloren hatte.

Abgesehen davon, daß das Wasser gewisse Gesteine allein schon dadurch verändert, daß es sich mit ihnen verbindet — so gehen beispielsweise Magnesiasilikate durch Wasseraufnahme in Serpentin über — löst und zersetzt es in Verbindung mit der in ihm enthaltenen Kohlensäure alle Felsarten. Bei der Verwitterung der Silikate werden zunächst durch das kohlensäurehaltige Wasser die Kieselsäureverbindungen von Kalk, Eisenoxydul, Kali und Natron, also der Alkalien, angegriffen, in lösliche Karbonate verwandelt und als solche weggeführt. Zwar wird auch die Kieselsäure vom Wasser, namentlich wenn es Kali oder Natron enthält, zum Teil wenigstens gelöst, aber zumeist schon in nächster Nähe, in Spalten und dergleichen, wieder ausgeschieden.

Als die Endprodukte der Zersetzung der Silikate bleiben dann außer dem Quarz, der in Form von Körnchen als Sand in die Bäche und Flüsse geschwemmt wird, die wasserhaltigen Tonerde- und Magnesia-

silikate als unlöslich zurück und werden ebenfalls vom fließenden Wasser weiter verfrachtet. Daher die ungeheuren Aufhäufungen von Quarzsand und Ton an der Oberfläche der Erde. Die reine kieselsaure Tonerde, welche noch am Orte ihrer Bildung lagert, wird Kaolin oder nach ihrer Verwendung zur Herstellung von Porzellangegenständen auch Porzellanerde genannt und enthält, wenn sie aus feldspatreichem Granit oder Porphyr entstanden ist, die in jenen Steinen enthaltenen, nicht verwitterten Gemengteile, wie Quarz, eingeschlossen. Meist ist aber dieser reine Ton durch das strömende Wasser vom Orte seiner Entstehung fortgeschwemmt und an anderen Stellen mit den verschiedensten Substanzen wie Kalk, Eisenoxyd, Magnesia, Quarzsand und dergleichen gemengt, wieder abgelagert worden und bildet so die verschiedensten Arten von Ton, die wir an den verschiedensten Orten antreffen.

Die reine kieselsaure Tonerde ist für sich allein unschmelzbar. Sie wird es erst durch Beimengung von Alkalien, wie Kalk und Eisenoxyd, die man deshalb als Flußmittel bezeichnet. So besteht der Porzellanton, der sehr plastisch ist und sich weiß brennt, vorzugsweise aus kieselsaurer Tonerde mit etwas Kalk, Magnesia und Eisenoxyd. Der ebenfalls sehr plastische Töpferton, der seine Farbe beim Brennen nicht verliert, enthält viel Kalk und Eisenoxyd und ist deshalb schmelzbar. Lehm ist ein Gemenge von Ton mit Quarzsand und etwas kohlensaurem Kalk, der durch Eisenhydroxyd meist gelb gefärbt ist. Da derselbe mindestens 40 Prozent Quarzsand enthält, ist er wenig plastisch und wird zur Herstellung von Ziegelsteinen benützt. Er ist nicht feuerbeständig und wird beim Brennen rot, indem sich das gelbe Eisenhydroxyd in rotes Eisenoxyd umsetzt. Gleich löslich wie die Tone sind die Magnesiasilikate, wie Serpentin, der aus wasserhaltiger kieselsaurer Magnia mit etwas Eisenoxydul zusammengesetzt ist, dann der fettig anzufühlende Talk wie auch der Speckstein, die aus wasserhaltiger kieselsaurer Magnesia allein bestehen.

So sehen wir, daß zuletzt Ton und Quarzsand, zur Seltenheit auch Kalk als die Hauptprodukte der auflösenden Tätigkeit des Wassers bei der Zersetzung der Silikate übrig bleiben. Während der körnige Sand, vom fließenden Wasser ins Meer geführt, wegen seiner relativen Schwere gleich untersinkt und deshalb in der Nähe der Küsten abgelagert wird, wird der feine Ton, der dem Wasser die lehmige Farbe verleiht, als sehr leicht weit in die Ozeane hinausgeführt, aber immerhin nicht weiter als 500 km von der Küste entfernt, und dort sedimentirt. Ist dem Tone bis fast zur

Vajolettürme bei Bozen.

Verwitterungsform des harten, aus Kalkschalen und Kalkgerüsten von Meerestieren aufgebauten Dolomits.

Digitized by Google

Hälfte seines Gewichtes kohlensaurer Kalk beigemengt, so bezeichnet man das Produkt der Sedimentierung als Mergel und unterscheidet dabei je nach dem Vorherrschen des einen Gemengteils über die andern Ton-, Kalk- und Sandmergel. Sind diese Gemenge durch Druckwirkung erhärtet worden, so entstehen daraus Schiefer, womit allgemein jedes in dünne Platten spaltbare Gestein bezeichnet wird. Ist dem Schiefer viel unlösliche wasserhaltige kieselsaure Magnesia beigemischt, so spricht man von Talkschiefer. Der als Sand mit dem Wasser weitertransportierte Gebirgsschutt, der außer dem Quarz meist noch Körnchen von ungelöstem Feldspat und Glimmerblättchen enthält, bildet an den Küsten die Dünen, im Wasser dagegen Sandbänke und bedeckt als leicht beweglicher Flugsand weite Strecken der Erde. Durch Bindemittel werden die einzelnen Sandkörner, besonders auch unter Mitwirkung von Druck, zu Sandsteinen verbunden, die überall, wo wir sie antreffen, im Gegensatz zu den küstenfern abgelagerten Ton- und Mergelschiefern, als Küstenbildungen anzusprechen sind. Noch viel näher am Ufer müssen sich die gröbsten mechanischen Sedimente, die wir allgemein als Konglomerate bezeichnen, gebildet haben. Es ist dies ein Gestein, das aus durch Wassertransport abgeschliffenen und an der Stelle, wo sie ins Meer gelangten, in Bänken abgelagerten, meist gleichartigen Geröllen besteht, welche durch ein später ausgeschiedenes kalkiges Bindemittel zusammengekittet wurden. Das bekannteste Konglomerat ist die aus Granit, Porphyr, Quarzit, Kalk oder Hornblendeschiefer durch ein sehr festes, kalkiges Bindemittel verkittete Nagelfluh, d. h. Nagelgestein, die als eine sehr küstennahe, sozusagen im Bereiche der Brandung entstandene Bildung im Niveau des mittleren Tertiärs in den Voralpen, besonders in den nördlichen Zentral- und Westalpen hohe Felswände von vielen Hunderten von Metern Mächtigkeit bildet, aus denen oft die Gerölle wie Nagelköpfe hervorragen. Daher der Name Nagelfluh. Seine bunten, außerordentlich harten Konglomerate bauen die vielbesuchten Aussichtspunkte der Schweizer und Algäuer Voralpen, wie den Rigi und Speer, teilweise den Säntis, ferner den Pfänder, Schwarzen Grat und Staufen auf. Im Gegensatz dazu stehen die Breccien, mit welcher ursprünglich italienischen Bezeichnung man die aus ungerollten, eckigen, scharfkantigen Gesteinstrümmern durch ein ebenfalls kalkiges Bindemittel verkitteten Gesteine bezeichnet, die stets am Fundorte, wo wir sie finden, gebildet sind, nie durch Wasser gerollte oder transportierte Bestandteile enthalten und deshalb fast stets massig auftreten. Aus ihnen gewinnt man oft schöne Bau- und Schmucksteine.

Wie die Konglomerate, Sandsteine, Tone und Mergel mechanische Sedimente sind, so haben wir in den Salzgesteinen chemische Ablagerungen vor uns. Während sich erstere in großer Menge im Meere allenthalben den Küsten entlang, soweit Flüsse in dasselbe einmünden, bilden, entstehen letztere nur ganz ausnahmsweise an einigen wenigen Stellen der Erde in abgeschlossenen Buchten und nie im offenen Ozeane. Nichts kann uns die überaus geringe Bedeutung derselben in Betreff der Tätigkeit des Meeres anschaulicher machen, als der Umstand, daß die großartigen Tiefseeuntersuchungen der Neuzeit im offenen Meere nicht einen einzigen Punkt haben finden können, an welchem der Boden von einem von einer chemischen Ausscheidung herrührenden Absatze bedeckt gewesen wäre. So viel Salze auch schon durch die Flüsse ins Meer gebracht wurden, es könnte noch sehr viel mehr davon in sich aufnehmen, bis es damit gesättigt wäre und eine Ausscheidung derselben erfolgte.

Das Meerwasser enthält im Mittel pro kg 34,75 g Salze und zwar:

Chlornatrium (Kochsalz)	27,18	Chlorkalium	0,61
Chlormagnesium	3,35	Brommagnesium	0,05
Schwefelsaure Magnesia	2,27	Doppeltkohlensaurer Kalk	0,035
Schwefelsaurer Kalk (Gips)	1,27	Zusammen	34,755 g

Außerdem enthält es Spuren verschiedener anderer Substanzen, so auch beispielsweise von Silber und Gold. Wenn auch darin pro metrischer Tonne, d. h. 1000 kg, nur 19 mg Silber und 6 mg Gold gelöst sind, so beträgt doch der Totalgehalt des Meerwassers an Gold allein 8 Milliarden, d. h. 8000 Millionen Tonnen, etwa so viel, daß auf jeden Erdenbewohner bei einer Verteilung 5000 kg kämen, was einem Geldwerte von annähernd 14 Millionen Mark entspräche.

Denkt man sich, das Wasser aller Meere verdampft, so wäre der Boden der Ozeane mit einer rund 100 m dicken Salzschicht bedeckt. All diese Menge ist dem Meere durch die Flüsse zugetragen worden, die aber so wenig davon enthalten, daß es 166 Millionen Jahre in Anspruch nehmen würde, bis sie nur das heute im Meere enthaltene Kochsalz in dasselbe geführt hätten. Und doch ist das jetzt im Meere enthaltene Salz nur ein ganz kleiner Teil dessen, das im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung in dasselbe übergeführt wurde. Man denke nur an die ungeheuren Salzlager, welche allein zur Triaszeit in den Buntsandstein- und Muschelkalkschichten über große Teile der Erde ausgeschieden wurden. Wie groß stellenweise die Mächtigkeit der damals erzeugten Salzlager ist, beweist beispielsweise die Bohrung bei Sperenberg südlich von

Berlin, wo man in einer Tiefe von 80 m Steinsalz antraf und bei 1273 m die untere Grenze desselben, das sogenannte Liegende, noch nicht erreicht hatte. All dies Salz ist zur Permzeit niedergeschlagen worden.

Aber nicht nur die ältere Triaszeit hat günstige Bedingungen zum Absatz von Steinsalz in Meeresbuchten geboten, sondern dieselben waren immer vorhanden. Es ist dies ein sicherer Beweis dafür, daß in den ältesten Zeiten der Erdgeschichte, schon vor mehreren Hunderten von Millionen Jahren das Meer eine teilweise noch stärkere Konzentration an Salzen als heute aufwies. Durch lokale Ausscheidungen wird eben stets dafür gesorgt, daß der Gehalt daran gewisse Grenzen nicht überschreitet, ein Umstand, der natürlich vor allem für die zahllose Lebewelt des Meeres von der größten Bedeutung ist. Von den ältesten Formationen, vom Silur, bis zu der jüngsten, dem Tertiär, sind teilweise reiche Salzlager gebildet worden. Nur aus den jüngeren mesozoischen Formationen, Jura und Kreide, sind uns merkwürdigerweise auffallend wenige Salzlagerstätten bekannt.

Für die Beurteilung der Art und Weise, wie in abgeschlossenen Buchten durch starke Verdampfung von Meerwasser sich gelegentlich Salzlager bilden können, ist es wichtig zu wissen, in welcher Reihenfolge bei der Verdunstung von Meerwasser die verschiedenen darin enthaltenen Salze aus der Lösung sich ausscheiden und auskristallisieren. Eingehendere diesbezügliche Versuche haben gezeigt, daß sich zuerst schwefelsaurer Kalk oder Gips, hernach kohlensaurer Kalk und kohlensaure Magnesia und dann erst die Hauptmasse des Kochsalzes mit sehr wenig Chlormagnesium, Bromnatrium und schwefelsaurer Magnesia ausscheiden. Wurde nun die Eindampfung unterbrochen, so blieb eine Mutterlauge zurück, welche nur noch etwa $^1/_{62}$ der verwendeten Wassermenge enthielt, worin aber noch $^1/_5$ der ganzen Salzmenge gelöst blieb. Nur der kohlensaure und schwefelsaure Kalk waren ganz daraus verschwunden, das Kochsalz machte nicht mehr ganz $^1/_3$ des zurückbleibenden Salzes aus, während alle leichtlöslichen Salze, wie Chlormagnesium, Chlorkalium, Brommagnesium und schwefelsaure Magnesia sehr stark darin vertreten waren. Nur in sehr kalkreichen Meeren, wie beispielsweise dem Mittelländischen Meere, scheidet sich, wenn etwa $^4/_5$ der ursprünglichen Flüssigkeitsmenge verdunstet sind, ein großer Teil des kohlensauren Kalkes vor dem schwefelsauren Kalk oder Gips aus.

Es müssen ganz also besondere Umstände zusammentreffen, bis sich in der Natur freiwillig die im Meerwasser enthaltenen Salze ausscheiden und so Veranlassung zur

Bildung von Steinsalzlagern geben. Den Weg dazu, wie solche Bildungen vor sich gehen, wies uns der um die Entwicklungsgeschichte höchst verdiente Karl Ernst von Bär in seinen Kaspischen Studien, worin er zuerst darauf aufmerksam machte, daß am östlichen Ufer des Kaspischen Meeres sich eine ausgedehnte, von den Umwohnern als

Fig. 73. Horizontal geschichteter, einst bei der Gebirgsfaltung gewaltig gepreßter Glimmerschiefer aus den goldführenden Gebieten am Yukon im Alaska, dessen Gefüge jetzt durch die Verwitterung stark gelockert ist.

Kara Bugas bezeichnete Bucht von 5550 qkm Umfang befindet, die durch eine hohe Barre vom übrigen Kaspischen Meere getrennt ist, so daß nur eine schmale und seichte Öffnung eine Verbindung mit letzterem herstellt. In den Kara Bugas ergießen sich keinerlei Gewässer; denn er liegt rings umgeben von der regen- und wasserlosen Turkmenensteppe, deren trockene Winde über seine Oberfläche hinstreichen und eine sehr starke Verdunstung hervorrufen. Jedenfalls wäre das Becken schon längst ausgetrocknet, wenn nicht ununterbrochen vom offenen Kaspischen

Digitized by Google

Meere, das von den Flüssen Ural, Wolga, Terek und Kura gespeist wird, neue Wassermengen einströmen und den durch Verdunstung entstandenen Verlust ersetzen würden. Das in den Kara Bugas einströmende Kaspiwasser verdunstet dort und läßt seinen Gehalt an gelösten Substanzen darin zurück. Infolgedessen enthält der Kara Bugas nicht weniger als 29,5 Prozent Salze in seinem Wasser und läßt an seinem Boden fortwährend Gips und Steinsalz auskristallisieren. Wir haben also in ihm eine natürliche Salzpfanne von riesigen Dimensionen vor uns, in welcher ununterbrochen Wasser der abflußlosen und mit dem Meere in keinerlei Verbindung stehenden Kaspisee eingedampft wird, so daß sich an seinem Boden die Salze, die die Zuflüsse des Kaspi aus dem Boden Rußlands angelaugt haben, beständig ausscheiden. Allerdings wird sich sein Becken nie ganz mit Gips und Salz ausfüllen können, da eine mächtige in neuerer Zeit erst festgestellte Unterströmung gesalzenen Wassers aus dem Kara Bugas in den Kaspi zurückströmt und so eine bedeutendere Konzentration seines Wassers verhindert.

Wäre beispielsweise das Rote Meer an seinem südlichen Ende, an der Straße von Bab el Mandeb, d. h. dem Tore der Tränen, so genannt, weil schon sehr viel Schiffe an seinen Korallenriffen gescheitert sind, durch einen hohen unterseeischen Querriegel vom Indischen Ozean getrennt, der nur Wasser in ihn eintreten aber nicht austreten lassen würde, so würden sich auch in ihm durch Verdunstung des Wassers Salzlager bilden. Tatsächlich ist dies aber nicht der Fall. Der Kara Bugas ist überhaupt der einzige Ort, von dem wir wissen, daß sich in ihm in der Gegenwart Steinsalz bildet. Kalkgesteine entstehen auf diese Weise fast gar nicht, nur etwas schwefelsaurer Kalk, welchen wir in chemischer Verbindung mit Wasser als Gips und ohne solches als Anhydrit bezeichnen. Der reine Gips bildet meist weiche kristallinische Massen von körniger oder faseriger Struktur, die so weich sind, daß sie sich mit dem Fingernagel ritzen lassen, wodurch sie sich vom merklich härteren Anhydrit, der auch schwerer ist, leicht unterscheiden. In der Natur ist aber fast aller schwefelsaurer Kalk durch fremde Beimischungen und Einschwemmungen hochgradig verunreinigt.

Als chemische Ablagerungen von abgeschlossenen Meeresbuchten treten Gips und Anhydrit sehr viel häufiger als Kochsalz auf. Nicht nur, daß die Konzentration in eindampfenden Meeresteilen meist nur so weit geht, daß der schwefelsaure Kalk sich ausscheidet und dann das weitere Fortschreiten der Eindickung bis zum Auskristallisieren des Kochsalzes durch irgend welche geologische Verände-

rungen unterbrochen wird, sondern meist wird schon abgesetztes Steinsalz in einer späteren Periode der Erdentwicklung durch Auslaugung des überall bis in größere Tiefen hinabdringenden Sickerwassers aufgelöst und in Form von salzigen Quellen zutage gefördert, wenn es nicht durch eine darüber gelagerte Decke von wasserdichten Gesteinen, wie z. B. Ton, vor dieser Auslaugung und Zerstörung geschützt wird.

Noch weit mehr wirken diese Umstände hindernd auf das Vorkommen von größeren Massen derjenigen Salze des Meerwassers, die wir vorhin als weit schwieriger ausscheidbar als Kochsalz bezeichnet haben. Zur Ablagerung dieser „Mutterlaugensalze", namentlich der schwefelsauren Magnesia, des Chlormagnesiums, des Chlorkaliums und Brommagnesiums, kam es im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung nur in ganz wenigen Ausnahmefällen, so daß uns das äußerst spärliche Vorkommen solcher nicht wundert. Dahin gehört als die wichtigste unter ihnen die zur Permzeit, wie die übrigen norddeutschen Salzlagerstätten, gebildete, bereits erwähnte Salzlagerstätte von Staßfurt im preußischen Regierungsbezirke Magdeburg, wo das größte, über 1200 m mächtige Steinsalzlager Preußens sich findet. In ihm sind die leichtlöslichen Meersalze zwischen dem Chlornatrium und Anhydrit nur dadurch in gewissen Horizonten erhalten geblieben, daß sie sofort nach ihrer Entstehung von einer undurchlässigen Schicht von sogenanntem Salzton, worin sich auch Magnesiumkarbonat findet, bedeckt wurden.

In diesem großen Magdeburg-Halberstädtischen Salzbecken ging die Ausscheidung von Steinsalz nicht ununterbrochen vor sich, sondern sie wurde in regelmäßigem Wechsel durch ein Ausfällen von Anhydrit abgelöst, von dem man annimmt, daß es im Winter erfolgte. Da nun im Staßfurter Salzlager über 13000 Anhydritschnüre übereinander nachgewiesen wurden, so muß seine Entstehung ebensoviele Jahre in Anspruch genommen haben. Darnach erst kam die Polyhyalitregion und zuletzt gelangten die löslichsten der Meersalze, nämlich die Kalisalze, zur Ausscheidung, indem sie ebenfalls von einer wasserundurchlässigen Decke von Salzton überschichtet und dadurch gegen die Auflösung durch die Tageswässer geschützt wurden.

Nach Ablauf dieses Prozesses scheint eine abermalige Meeresbedeckung dieser Gegend durch langsames Absinken des Landes stattgefunden zu haben, an die sich wiederum derselbe Kristallisationsprozeß anschloß. Diesmal kam es aber nur zu einer Ausscheidung von Kochsalz, während die Kalisalze weggeschwemmt wurden, so daß sich das durch sogenannte Abraumsalze nicht verunreinigte Steinsalz des jüngeren, oberen

Lagers bilden konnte. Und gerade diese früher mit der verächtlichen Bezeichnung „Abraumsalze" belegten Kalisalze, so genannt, weil man sie vorher abräumen mußte, bevor man zu dem darunter liegenden Steinsalz gelangen konnte, haben sich in den letzten Jahrzehnten als das Wertvollste an dem Salzlager erwiesen, indem sie für die Industrie unentbehrlich sind. Besonders wertvoll erweisen sie sich als Düngemittel für Sand- und Moorböden, denen das für das Wachstum und Gedeihen der Pflanzen unentbehrliche Kali fehlt. So macht gerade der Carnallit, ein Doppelchlorid von Kali und Magnesia, dem allerdings 26 Prozent Steinsalz und 2 Prozent Gips beigemengt sind, den Hauptwert des Staßfurter Salzlagers aus.

Ein zweites erwähnenswertes Vorkommnis von Kalisalzen ist dasjenige von Kalusz in Siebenbürgen, wo an der einen Seite des zur Miozänzeit aufgerichteten karpatischen Gebirgsbogens, in einer Bucht des damals weit nach Norden, bis nach Oberschlesien hinein sich erstreckenden miozänen Mittelmeers nach dem Kochsalz auch die bis fast zum letzten Tropfen Flüssigkeit in Lösung bleibenden Mutterlaugensalze ausgeschieden wurden und sich, von einer undurchlässigen Tonschicht bis in die Gegenwart bedeckt, erhalten haben. Daß in jenem miozänen Mittelmeer vielfach Buchten vom offenen Meere abgeschnürt wurden und dadurch zu gewaltigen Salzablagerungen Veranlassung gaben, das beweisen die zahlreichen Punkte Siebenbürgens, in denen sich Steinsalz aus jener Zeit vorfindet. Diese Salzfundstellen gehen weit nach Norden, wo wir als die bekannteste diejenige von Wieliczka, südöstlich von Krakau, anzuführen haben. Dort sind die salzführenden Schichten, die doch auf ebenem Boden ausgeschieden wurden, durch nachträgliche Faltungen des Gebirges wie die Wogen eines bewegten Meeres aufgerichtet und zerteilt. Hier kam es nur zur Abscheidung von Chlornatrium und schwefelsaurem Kalk. Ersteres findet sich in mächtigen bis 5000 cbm großen Blöcken in Form eines grobkörnigen, grünen Steinsalzes, das nur an verhältnismäßig wenigen Stellen mit feinem Sande verunreinigt ist. Es ist hier nachträglich durch Druckveränderung, sogenannte Dynamometamorphose, umkristallisiert worden und enthält stellenweise Beimengungen von Knistersalz, so benannt nach dem mit knisterndem Geräusch erfolgenden Entweichen kleinster vom kristallinischen Salze eingeschlossener Kohlenwasserstoffbläschen. Ebenfalls im Salz eingeschlossene Reste von Meerestieren deuten darauf hin, daß die umgewandelte Leibessubstanz dieser Tiere die Quelle dieser Gase im Salze darstellt.

Unter den gewöhnlichen Verhältnissen scheidet sich der schwefelsaure

Kalk als Gips aus wässerigen Lösungen aus, während der wasserfreie Anhydrit in den Laboratorien bis jetzt nur unter solchen Verhältnissen erzeugt werden konnte, wie wir sie in der Natur nicht voraussetzen können. Er kristallisiert nämlich aus einer gesättigten Kochsalzlösung erst bei einer Temperatur von 125 bis 130° C. aus. Daraus können wir schließen, daß sich Anhydrit jedenfalls nur unter bedeutendem Druck aus einer sehr konzentrierten Salzlösung ausscheiden kann. Das sind also Verhältnisse, wie sie nur in verdampfenden Wasserbecken von großer Tiefe vorkommen. Bei Zutritt von Wasser wandelt er sich stets durch Wasseraufnahme in Gips um, wobei er eine sehr bedeutende Volumzunahme erfährt, indem er sich um mehr als die Hälfte des früheren räumlichen Umfanges aufbläht. Wenn dieser Prozeß sich auf größere Massen erstreckt, so übt diese durch die Wasseraufnahme bedingte Aufquellung des Anhydrits einen außerordentlich starken Druck auf die umgebenden Gesteine aus, wodurch die Lagerung ganzer Gebirgsteile gestört und Stollen und Schächte in Bergwerken, die durch Anhydritlager gehen, oft vollständig zerquetscht werden. Nach Melchior Neumayr wurde in der Nähe von Heilbronn in Württemberg vor etwa 40 Jahren ein Eisenbahntunnel getrieben, welcher auf Anhydrit traf, der teils in ganzen Schichten auftrat, teils aber auch nur in Nestern oder in feinen Einsprengungen in dunklem Mergel enthalten war. Die Umwandlung erfolgte teilweise schon während des Baues, der das Gestein dem Einflusse von Luft und Wasser erschloß; einzelne Bänke hoben sich um 1 m, andere wurden mit heftigem Knalle und unter Wegschleuderung von zahlreichen Trümmern zerrissen; Balken, die zur Auskleidung dienten, wurden zersprengt, und in späterer Zeit noch wurde die Mauerung des Tunnels durch ein Fortdauern des Prozesses zerdrückt und verwüstet.

Im Gegensatz zum schwefelsauren Kalk wird der kohlensaure Kalk nie direkt aus dem Meerwasser ausgeschieden, sondern stets nur durch den Lebensprozeß von Organismen, die seiner zur Bildung von Schalen, also zu Schutzhüllen, oder zur Versteifung ihres Körpers in Form eines Knochengerüstes bedürfen, niedergeschlagen. Deshalb bezeichnet man die in ungeheurer Mächtigkeit auf der Erde vorkommenden kohlensauren Kalke mit den Kieselgesteinen, welche sich aus den Schalen winziger einzelliger Meerestiere, der Radiolarien oder Strahlinge, sedimentiert haben, und den Kohlengesteinen, die aus unter Luftabschluß durch trockene Destillation verkohlten Pflanzenteilen bestehen, als organische Abla-

gerungen, d. h. als Sedimente, die ausschließlich aus Körperbestandteilen zugrunde gegangener Lebewesen bestehen. Alles Kalkgebirge, das in vielen Tausenden von Metern Mächtigkeit am Aufbau der oberflächlichsten Schichten der Erdkruste beteiligt ist, ist wenigstens einmal, in der Regel aber mehrere Male durch einen Tierkörper hindurchgegangen[1], der den dazu nötigen Kalk dem Wasser, und zwar fast ausschließlich dem Meerwasser und nur ausnahmsweise dem Süßwasser, entnahm.

Ein Liter Meerwasser enthält nur 0,035 g kohlensauren Kalk. Wenn nun beispielsweise eine Muschel am Meeresgrunde im Laufe vieler Jahre eine Kalkschale von 35 g aufbaut, so muß sie dazu, wie die einfache Rechnung ergibt, mehr als 1000 Liter Meerwasser durch ihren Körper hindurchschicken, um die für sie nötige Menge Kalk daraus zu gewinnen. Wie überaus langsam arbeitet doch die Natur! Und welche Leistungen weist sie gleichwohl auf durch die Unzahl der Lebewesen, die in der Biosphäre der Erde ihr Leben trieben und durch die ganz unfaßbar langen Zeiträume, während welcher sie ein Atom kohlensauren Kalkes nach dem andern in ihren Körpern aufspeicherten, um ihre Schutzhülle oder ihr Leibesgerüst daraus zu errichten. Und wenn die betreffenden Tiere starben, so diente zwar ihr Fleisch zahllosen Liebhabern und zuletzt den Fäulniserregern zum Fraß, die Schutzhülle oder das Skelett aus kohlensaurem Kalk aber blieb erhalten, um im Laufe von Äonen, zu vielen Tausenden von Metern Mächtigkeit aufgehäuft, ganze Berge zu bilden.

Ursprünglich hat natürlich das an der Erdoberfläche zirkulierende Wasser den in den Erstarrungsgesteinen enthaltenen Kalk gelöst und durch die Flüsse ins Meer verfrachtet, wo die mancherlei seiner bedürfenden Tiere sich desselben bemächtigen, um ihre Gehäuse und Skeletteile daraus aufzubauen. Nach ihrem Tode blieben diese als unverweslich erhalten, häuften sich in gewaltiger Menge an und wurden durch den Gebirgsdruck infolge der Schrumpfung der Erdrinde zu Kalkstein gepreßt und zu hohen Bergen aufgetürmt, aus denen das atmosphärische Sickerwasser den Kalk mit den andern löslichen Salzen wiederum auslaugte und dem Meere, aus dem er einst hervorgegangen war, zutrug, um ihn für die darin lebenden Tiere, seltener auch Pflanzen, zur Verfügung zu stellen. So besteht, wie allenthalben, auch hierin ein geschlossener Kreislauf der zweckmäßigsten Art, ein stetes Ineinandergreifen eines Vorganges in den andern wie die Glieder einer endlos sich bewegenden Kette.

Natürlich ist der Gehalt der Bäche und Flüsse wie an gelösten Mineralsubstanzen, so auch an doppeltkohlensaurem Kalk ganz verschieden je nach den mit den Jahreszeiten wechselnden Niederschlägen und der Gesteinsbeschaffenheit des betreffenden Gebietes, welches der Fluß entwässert. So kann der Gehalt an gelöstem kohlensaurem Kalke in 100 000 Teilen Wasser bis über 20 Teile steigen, wie das bei den Strömen der Fall ist, welche dem fast nur aus Kalken aufgebauten Juragebirge entstammen, während dagegen Flüsse, welche aus kalkarmem Gebirge stammen, kaum den zwanzigsten Teil davon enthalten. So z. B. enthalten die aus reinem kristallinischen Schiefergebirge stammenden Flüsse, wie z. B. die Möll bei Heiligenblut in Kärnten nicht ganz 1, die Ötz bei Vent in Tirol nicht einmal $^1/_2$ Teil kohlensauren Kalks in 100 000 Teilen Wasser gelöst.

Die Löslichkeit des kohlensauren Kalkes im Meerwasser hängt zum großen Teile davon ab, daß darin freie Kohlensäure vorkommt, welche zur Bildung von Calciumbikarbonat, d. h. doppeltkohlensaurem Kalk Veranlassung gibt. Am Grunde der Tiefsee, wohin auch der feinste Schlamm, den die Flüsse ins Meer transportieren, nicht mehr hingelangt, ist der Meeresboden auf weite Strecken hin von den Kalkschalen der als Plankton auf dem Meere treibenden und sich von einzelligen Algen der verschiedensten Art ernährenden winzigen Foraminiferen bedeckt, die nach ihrem Tode langsam zu Boden sinken und sich dort anhäufen. Aber da dort der Gasaustausch ein überaus langsamer ist und infolgedessen eine Ansammlung der durch die Lebenstätigkeit der verschiedenen Tiefseetiere ausgeschiedenen Kohlensäure begünstigt wird, so löst dort das verhältnismäßig kohlensäurereiche und zudem unter dem gewaltigen Drucke von etwa 10 Millionen kg per qm stehende Meerwasser die kalkhaltigen Absätze aus Foraminiferenschalen wieder auf. Dieser Auflösung setzen sie zwar, wie die Kalkschalen aller Tiere, einen ziemlichen Widerstand entgegen, indem alle diese organischen Kalkbildungen von einem feinen Netzwerk organischer Substanz durchzogen sind, deren Membranen den kohlensauren Kalk umhüllen und so bis zu einem gewissen Grade vor der Auflösung schützen. Von diesen Verhältnissen kann man sich leicht durch einen Versuch überzeugen. Löst man beispielsweise eine Muschel in schwacher Salzsäurelösung auf, so bleibt, auch wenn der kohlensaure Kalk vollständig vertrieben ist, eine gallertartige Masse von der Form der Muschel, aus einer Art von Mucin bestehend, zurück. Es kann also aus diesen Gründen in Meerwasser, das nicht freie Kohlensäure enthält und unter sehr hohem Drucke steht, keine Auflösung von Kalkschalen

erfolgen. Dies ist nur in der Tiefsee möglich, wo sich infolgedessen kein Niederschlag von Foraminiferenschalen bilden kann. Schon in mittleren Tiefen weist der Niederschlag sehr viele vom Meerwasser zerfressene Foraminiferenschalen auf.

Die dabei stattfindende Überführung des unlöslichen kohlensauren Kalkes in gelösten doppeltkohlensauren Kalk kommt den zahlreichen kalkbedürftigen Tiefseetieren, die sich diesen Stoff nur sehr schwer beschaffen können und deshalb bloß äußerst dünne Kalkhüllen erzeugen, sehr zugute; denn gerade in der Tiefsee, wo der Stoffaustausch ein sehr langsamer ist, macht sich die Armut des Meerwassers an kohlensaurem Kalk doppelt geltend. Aber auch in oberflächlicheren Schichten des Meeres ist dieser für alle Organismen so überaus wichtige Stoff in so geringen Mengen im Meerwasser enthalten, daß zur Ansammlung des heute in allen Meeren vorhandenen Kalkes durch die Flüsse nur $^1/_2$ Million Jahre nötig wären.

Fig. 74. Globigerinenschlamm vom Meeresgrunde bei sehr starker Vergrößerung.

Dank dieser Eigenschaft, daß die Kalkschalen und Gerüste der verschiedensten Tiere und mancher Pflanzen durch ihre Imprägnation, d. h. Durchdringung mit organischem Gewebe, wozu bei vielen Schalen von Weichtieren noch ein besonders widerstandsfähiger Epidermisüberzug hinzukommt, vor der Auflösung in gewöhnlichem Meerwasser geschützt sind, sammeln sie sich da, wo sie gerade zugrunde gingen, in immer gewaltigeren Massen an und konnten so im Laufe der ungeheuer langen erdgeschichtlichen Entwicklung die oft mehrere Tausend Meter mächtigen Berge von Kalkstein bilden, die uns in den wild zerrissenen Kalkalpen, im Norden und Süden der kristallinischen Zentralmassen derselben, dann in den als Klusen bezeichneten Einschnitten der Juraketten in der Schweiz und an den schroff abstürzenden Felsmauern, welche den Steilabfall der schwäbischen und fränkischen Alb krönen, entgegentreten. Alle diese verdanken ihre Entstehung ausschließlich der kalkabsondernden Tätigkeit von ungezählten Quintillionen von Organismen, die in den Meeren der verschiedenen Erdperioden lebten

und nach ihrem Absterben die im Meerwasser unlöslichen Kalkschalen nach und nach aufeinander häuften. Und zwar waren es nicht in erster Linie die große Schalen und Gerüste aufbauenden Tiere, welche durch ihre stille, aber unablässige Tätigkeit am Grunde des Meeres solche staunenswerte Leistungen vollbrachten, sondern gerade die winzigen, mit unbewaffnetem Auge gar nicht sichtbaren. Diese letzteren leben in oberflächlichen Wasserschichten, wo sie sich von den gleich ihnen durch allerlei höchst zweckmäßige Einrichtungen schwebend erhaltenden mikroskopischen einzelligen Pflänzchen, den Algen, ernähren. Was für ungeheuere, unser Fassungsvermögen weit übersteigende Zeiträume waren dazu nötig, um aus solchen mikroskopisch kleinen Schälchen viele tausend Meter mächtige Kalkgebirge aufzutürmen, wenn wir bedenken, daß oft in Jahrhunderten kaum 1 mm Kalkniederschlag am Grunde der Tiefsee sich zu bilden vermag. Wer diese Tatsache recht erwägt und sich vollkommen klar vor Augen führt, dem muß es geradezu schwindeln vor den unvorstellbar langen Zeiträumen, mit denen wir es in der Geschichte der Erde zu tun haben. Je größer unsere Kenntnis über die Vergangenheit unseres Wohnkörpers wird, umsomehr sehen wir ein, daß alle bisherigen Schätzungen von der Dauer der geologischen Vergangenheit vollkommen unzulänglich sind, daß es nicht Millionen, sondern hunderte, ja wohl über 1000 Millionen Jahre sind, seitdem die Erde Leben aus sich hervorgebracht und zu immer höherstehenden und komplizierter gebauten Organismen entwickelt hat.

Die erdgeschichtliche Forschung lehrt uns mit absoluter Sicherheit erkennen, daß wir es in der Vergangenheit unseres Planeten mit denselben Faktoren wie heute zu tun haben, daß dieselben Vorgänge wie wir sie in der Gegenwart allenthalben auf der Erde an der Arbeit sehen, auch in der Vergangenheit tätig gewesen sind, daß alles in langsamster, unmerklich fortschreitender Entwicklung so geworden ist, wie es jetzt ist. Nicht gewaltsam in Katastrophen, mit sich daran anknüpfenden Neuschöpfungen, hat sich die Lebewelt von Epoche zu Epoche geändert, sondern friedlich, in der beständigen Auswahl des Zweckmäßigsten, hat sie sich stets zum Höheren und Vollkommeneren verwandelt. Nicht durch die kurz dauernde Wirkung gewaltiger Kräfte, sondern durch die Anhäufung zahlloser kleiner, in ihren Einzelwirkungen meist ganz unscheinbarer und deshalb unterschätzter Faktoren bauen sich die großartigen Erscheinungen auf, denen wir überall auf Erden begegnen.

Wir haben vorhin erwähnt, daß große Teile der Tiefsee, wohin kein Schlamm der Flüsse mehr hingelangt, von den Kalkabsätzen niedriger Organismen bedeckt sind. Diese treffen wir besonders im Atlantischen Ozean in Tiefen bis zu 4000 m in großer Verbreitung an. Sie bestehen, mit dem Schleppnetze frisch heraufgezogen, aus einem graugelben, klebrigen Schlamme, der beim Trocknen weiß wird und ein kreidiges Aussehen bekommt. Unter dem Mikroskope erscheint er als eine Anhäufung von winzigen Kalkschalen der einzelligen Foraminiferen, teils vollständig erhalten, teils mehr oder weniger zerbrochen und durch die Einwirkung des kohlensäurehaltigen Meerwassers angegriffen. Da in diesen kalkbildenden Absätzen am Meeresgrunde in erster Linie die Foraminiferengattung Globigerina beteiligt ist, so bezeichnet man diesen weißen Tiefseeschlamm allgemein als **Globigerinenschlamm**. Außer ihr finden sich besonders noch die Gattungen Orbulina und Pulvinulina. Es sind dies alles pelagische Foraminiferen, die nahe der Oberfläche der Hochsee in zahllosen Individuen, aber wenig Arten leben, während nur einzelne Gattungen, wie Lagena und die Miliolideen, in bedeutendere Tiefen hinabreichen. Wegen der kalkauflösenden Wirkung größerer Meerestiefen haben die eigentlichen Tiefseeforaminiferen keine Kalkschalen, sondern begnügen sich damit, Gehäuse aus Sand zu bauen. Weitaus am artenreichsten sind die Foraminiferen der Strandzone, die gerne

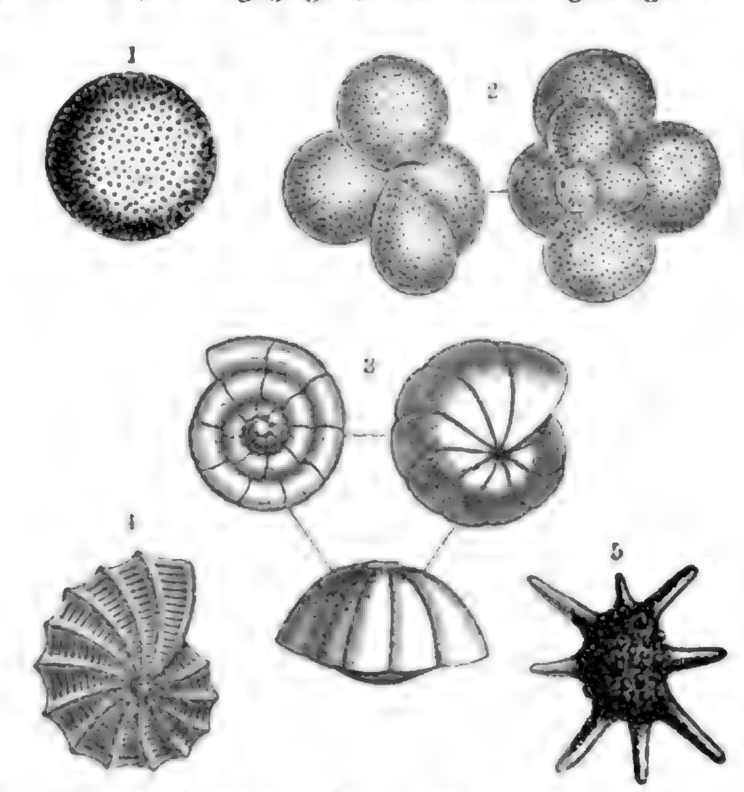


Fig. 75. Verschiedene Schalen von Foraminiferen oder Kammerlingen aus dem Schlamme mäßig tiefer Meere, sehr stark vergrößert: 1 Orbulina, 2 Globigerina, 3 Rotalia, 4 Polystomella, 5 Calcarina. In den lebenden Tierchen füllt das Protoplasma oder lebende Eiweiß nicht nur alle Kammern aus, sondern sendet auch durch die feinen Poren der Schalen zahlreiche feine Fortsätze als Pseudopodien oder Scheinfüße aus, die zur Bewegung und Nahrungsaufnahme dienen. Von lebenden und fossilen Foraminiferen sind gegen 2000 Arten beschrieben worden.

Fig. 76. Eocäner Nummulitenkalk von Iberg im Kanton Schwyz in natürlicher Größe (Original im Baseler Museum). Die in der Gegenwart überaus seltenen und nur in wenigen kleinen Formen vertretenen Nummuliten, welche auch in früheren Formationen nur spärlich vorkamen, gelangten zu Beginn des Tertiärs plötzlich zu ganz enormer Entwicklung. Sie sind Urtiere aus der Gattung der Foraminiferen d. h. der ‚mit Öffnungen Versehenen‘ und stellen das höchst entwickelte Glied ihrer ganzen Klasse dar. Gleichzeitig sind sie auch die Riesen dieser Abteilung, indem manche unter ihnen 6 cm Durchmesser erreichten, während andere allerdings 2 mm nicht überschritten. Die hier teils im Längs-, teils im Querschnitt sichtbaren linsenförmigen Gehäuse bestehen aus zahlreichen, bis zu 50 Spiralwindungen, die durch eine Menge von Scheidewänden in sehr viele Kammern geteilt werden. Die Schale, welche das Tier umgab, ist fein porös zum Durchtritte der Pseudopodien oder Scheinfüße, mit denen es sich sowohl bewegte als auch Nahrung aufnahm. Die Verbreitung der eocänen Nummulitenkalke ist wie diejenige der Rudisten, welche aus höchst merkwürdigen Muschelschalen bestehen, hauptsächlich eine zu beiden Seiten des Mittelmeeres verlaufende, die sich bis nach Indien erstreckt und außerhalb dieses Gebietes in viel geringerer Zahl vorkommt.

an Seepflanzen und Polypenstöcken herumkriechen, an denen sie sich mit Hilfe ihrer Scheinfüßchen festhalten. Eine Verminderung des Salzgehaltes scheint für einige derselben ohne schädlichen Einfluß zu sein, so daß sie gelegentlich auch im Brackwasser angetroffen werden. Ja, sie haben sich in einzelnen wenigen Fällen sogar dem Süßwasser angepaßt. Es sind dies, im Gegensatz zu den ausschließlich das Meer bewohnenden Polythalamien oder Vielkammerigen, die einfachen Monothalamien oder Einkammerigen, die aber im süßen Wasser niemals eine Kalkschale ausbilden, sondern entweder einen Chitinpanzer besitzen oder eine durch eingeklebte Fremdkörper erhärtende Haut um sich bilden.

Die polythalamen pelagischen Foraminiferen sind durch die ungeheure Zahl ihrer Individuen wie heute im Atlantischen Ozean, so auch in früheren Erdperioden gesteinsbildend

gewesen. Doch geht ihre Anhäufung nur äußerst langsam vor sich, indem erst 50000 Schalen derselben 1 g kalkigen Meeresabsatz geben. In Verbindung mit Kokkolithen und Rhabdolithen, den Überresten von an der Meeresoberfläche schwimmenden Kalkalgen, die auch heute noch sehr zahlreich dem Globigerinenschlamm der Tiefsee sich hinzugesellen, bilden sie in anderen Gattungen, den Textularien und Rotalien, die allgemein bekannte weiße Kreide der obersten Kreideformation, die als organische Tiefseeablagerung in ähnlicher Bildung von England und Skandinavien bis Nordafrika und Syrien verbreitet ist. In der ältesten Tertiärzeit, dem Eocän, haben Foraminiferen mit sehr großen Kalkschalen, die man wegen ihrer an Münzen erinnernden Gestalt als Nummuliten bezeichnet hat, die mächtigen Gesteinsschichten der Nummulitenkalke aufgebaut, deren großartige Verbreitung sich von den Pyrenäen bis an den Stillen Ozean erstreckt, und aus welchen beispielsweise auch die ägyptischen Pyramiden erbaut sind. Die der oberen Kreidezeit angehörenden Miliolideenkalke des Pariser Beckens sind aus den winzigen Kalkschalen der Foraminiferen aus der Gattung Miliolum, d. h. hirsekornartiges Wesen, zusammengesetzt. Aus dem von ihnen gelieferten Kalkstein ist ein großer Teil der Stadt Paris gebaut. Ihnen reihen sich die Fusulinenkalke der Kohlenformation an, ferner die Alveolinenkalke des frühen Tertiärs und andere, wie gewisse Grünsandsteine und dichte Kalke, welche in Dünnschliffen bei starker Vergrößerung zahlreiche Durchschnitte von Foraminiferenschalen erkennen lassen.

Weit häufiger und ausgiebiger gesteinsbildend sind, abgesehen von den Kalkschwämmen, die wie diese in die Familie der Coelenteraten oder Hohltiere gehörenden Korallentiere, welche ein genau der Form ihrer Kolonien entsprechendes steinhartes Kalkskelett ausbilden, mit dem sie sogar der Brandung zu widerstehen vermögen, in der sie sich überhaupt am liebsten ansiedeln, da sie ihnen die meiste, aus niedrigen tierischen Lebewesen bestehende Nahrung zuführt. Die Kolonien bildenden primitiveren Steinkorallen, welche nach der Sechszahl ihrer Septen oder Scheidewände und Tentakeln, den ungegliederten Fühlern und gleichzeitig Greifarmen in Form von hohlen Schläuchen, ohne seitliche fiederige Ausstülpungen, als Hexakorallien bezeichnet werden, sind wie heute so auch in allen früheren Erdperioden wohl die mächtigsten Kalkbildner der Meere gewesen. Nur fossil kennen wir die mit vier Septen und Tentakeln versehenen Tetrakorallien.

Während die mit acht Septen und Tentakeln mit zahlreichen seitlichen Ausstülpungen versehenen Octokorallien, die nur kleinere,

wenig Kalk ausscheidende Stöcke bilden, größere Meerestiefen dem flachen Wasser vorziehen und nur in den Tubiporen oder Orgelkorallen eigentlich gesteinsbildend auftreten, sind die in zahlreiche Arten zerfallenden und stark entwickelte Kalkskelette aufbauenden Hexakorallien in ganz außerordentlicher Weise am Aufbau von Kalkgebirgen beteiligt. Gerade ihre Kolonien bilden gewaltige Stöcke und Rasen aus weißem kohlensaurem Kalk aber nur in warmen Meeren, deren Wassertemperatur an der Oberfläche und in geringem Abstande von derselben auch in den kühleren Wintermonaten nicht unter 20° C. sinkt. Dementsprechend ist ihr Vorkommen heute nur um den Äquator zwischen dem 25. Grad nördlicher und südlicher Breite mit einer mittleren Wassertemperatur von über 24° C. möglich. Sie beschränken sich hier auch nach der Tiefe zu auf einen schmalen Saum, der nach oben durch den niedrigsten Ebbestand begrenzt ist und nach unten nicht tiefer als 40 m geht. Aber diese Tiefe ist ihnen schon unangenehm; weitaus am besten gedeihen sie in Tiefen von 1 bis 20 m, wo sie sich am liebsten ansiedeln. Ferner verlangen sie ganz klares Meerwasser von normalem Salzgehalte; wo dasselbe schwebende Sedimentteilchen enthält oder gar durch darein einmündende Flüsse ausgesüßt ist, gedeihen die großen Kolonien der Steinkorallen nicht mehr. Küsten mit schlammigem Boden, der stets wieder vom Wellenschlage aufgewühlt wird, schließen also, wie auch Flußmündungen, ihr Vorkommen aus.

Von ihren Verwandten, den prachtvoll gefärbten, mehr oder weniger seßhaften Aktinien oder Seerosen und den glasartig durchsichtigen, in großen Scharen die blaue Meeresflut durchziehenden Quallen unterscheiden sich die Korallen vor allem dadurch, daß sie sich zu großen Kolonien mit vielen Millionen von Einzeltieren zusammentun und, um der gewaltigen Brandung zu widerstehen, ein starkes Kalkgerüst errichten. In diesem Tierstaate ist genau wie bei den gesellig lebenden Insekten strengste Arbeitsteilung, welche sich überall als das Zweckmäßigste erweist, durchgeführt. Da gibt es Nährpolypen, welche weitaus den Gewalthaufen bilden und mit ihren nesselnden Fangarmen allerlei winzige tierische Beute zu erhaschen suchen, die sie nicht selbst verzehren, sondern als gemeinsamen Nährbrei dem ganzen, zusammenhängenden Stocke zukommen lassen; außerdem gibt es Wehrpolypen, Fortpflanzungspolypen und sogenannte Trinkpolypen, die die Kolonie mit Wasser durchpumpen. So arbeiten alle zum gemeinsamen Besten, und wenn auch jedes einzelne Tierchen nur ganz winzig ist, so bilden sie durch ihre einträchtige Zusammenarbeit einen bedeutenden Faktor im Naturhaushalte.

Zu den kalkausscheidenden Steinkorallen gehören die durch Knospung große Stöcke bildenden Asträiden, Mäandriden, Fungien, Oculiniden, Dendrophyllien und besonders die **Madreporen, die eigentlichen Riffe bildenden Korallen**, die in der Erdgeschichte als Gesteinsbildner eine ungeheure Rolle gespielt haben und noch heute spielen. Ganze Berge von sogenannten ruppigen, keinerlei Schichtung zeigenden Kalken sind durch sie im Laufe der Erdgeschichte aufgebaut worden.

Fig. 77. Zweig einer zur Gattung der Madreporen gehörenden rezenten Riffkoralle von der Küste des Indischen Ozeans bei Aden, um $^1/_4$ verkleinert. Jede einzelne Pore entspricht einem Einzeltiere der Kolonie, die als dünner, lebendiger Überzug das Kalkgerüst überzog.

Noch in der Gegenwart bedecken sie viele Tausende von Quadratkilometern allein im Stillen und im Indischen Ozean. Alle Südseeinseln sind von solchen, dicke Bänke bildenden Korallenriffen umgeben, wenn sie nicht überhaupt durch die Korallen aufgebaut sind, und der Ostküste Australiens sind mehr als 1600 km lange mächtige Korallenriffe vorgelagert. Den Gewalthaufen bilden stets Madreporen, zwischen denen in ganzen Büschen rote Kronen- und Griffelkorallen, violette Porenkorallen und große Pilzkorallen wachsen. Weiter unten begegnen wir den braunen Hirnkorallen und gelben Sternkorallen, während die meist schwefelgelben, flach ausgebreiteten Turbinarien die Brandungszone bevorzugen. Um das Bild noch bunter zu machen leuchten dazwischen in allen Farbennüancen die zierlichsten Gorgoniden oder Rindenkorallen.

Entwickeln sich solche Riffe an Gestaden, die langsam sinken, so wachsen sie beständig nach oben weiter, wenn sie auch nach unten zu,

in dem Maße als die Lebensbedingungen für sie ungünstig werden, absterben. So konnten sich an den Küsten und um Inseln aus ihnen aufgebaute steil 300 bis 650 m und mehr abstürzende Wände bilden.

Ganz ungeheuer ist die Kalkmenge, die sie dem Meere zum Aufbau ihrer gewaltigen Kalkskelette entziehen. In einem solchen Kalkriff lebt eine ganze Welt von an Zahl der Arten und Individuen höchst mannigfaltigen Tieren aller Gattungen. Schon im Innern der an der Peripherie üppig weiterwachsenden Korallenkolonien wird der Kalk der abgestorbenen Teile durch das warme es durchdringende Meerwasser zum größten Teile umkristallisiert, so daß die organische Struktur verloren geht. Die Wellen, welche fortwährend mit furchtbarer Gewalt gegen die am kräftigsten sich entwickelnde lebende Außenseite des Riffes anschlagen, brechen ganze Stücke, besonders der ästigen Korallenarten, der Madreporen, ab und werfen sie samt den daran und dazwischen lebenden Muscheln, Seeigeln und anderen Tieren mit Kalkgehäusen auf die flache Oberseite des Riffs. Besonders starke Stürme, und noch mehr die gewaltigen Erdbebenwellen, die rauschend über die Ozeane hinwegfegen, reißen ganze Blöcke davon los und schleudern sie ebenfalls auf das Riff. Jede folgende Woge rollt diese Stücke hin und her und zerkleinert sie bis sie zu feinem Gruse zerrieben sind, der dann allmählich erhärtet und den sogenannten Riffstein bildet. Dieser ist ein so dichter, kompakter Kalk, daß man ihn für ein Gestein einer alten Formation und nicht für das jüngste Produkt der Meerestätigkeit halten möchte.

Dieser Prozeß der Gesteinsbildung, dessen wirkende Kraft der durch starke Winde zu großer Heftigkeit gesteigerte Wellenschlag des Meeres ist, wird durch die Tätigkeit einer Menge im und vom Korallenriff lebender Tiere sehr wesentlich befördert. Zahllose bohrende Muscheln, Würmer, Seeigel und Schwämme führen ihre Gänge in die Korallenstöcke und zermahlen dabei deren Material zu feinstem Schlamme. Zahllose der gleich den Korallentierchen in äußerster Buntheit gefärbten Fische, die man ob ihrer schreienden Farben mit Recht als Papageifische bezeichnet, wie auch wurmartig verlängerte Seeigel, die Holothurien oder Seegurken, leben ausschließlich von den Korallentierchen, deren Fleischüberzug sie mit ihren scharfen Zähnen abweiden, wobei sie gleichzeitig unwillkürlich die Kalkränder der lebendigen Becher trotz allem Abwehren der angegriffenen Korallen durch ein Überschütten ihrer Feinde durch ihnen entgegengeschleuderte Nesselkapseln mit einem scharfen, ätzenden, giftigen Stoffe, zermalmen.

So arbeiten zahllose Tiere mit an der Zerkleinerung des Korallen-

riffes und liefern unablässig neues Material für die Bildung des Riffsteins, der alle die zahllosen heutigen und vergangenen Korallenbauten der Hauptsache nach zusammensetzt. Das feine Kalkzerreibsel wird nicht nur in alle Lücken und auf die Oberfläche des Korallenriffes geschwemmt, es sinkt auch an dessen Außenseite nach abwärts und setzt sich hier in allen Höhlungen und Unebenheiten fest, die Flanken der sich bildenden Koralleninsel mit kalkigem Sand und Schlamm bedeckend.

Die bauende Tätigkeit der Korallen und der sie begleitenden mannigfaltigen Tiere und wenigen niedrigen Pflanzen kann aber kaum über den Stand der tiefsten Ebbe hinausreichen und nie zur Bildung von festem Lande direkt Anlaß geben. Dies geschieht nur durch die Kalktrümmer, welche die Brandung auf die Rifffläche wirft. Über den breiten Rücken dieser letzteren tragen die Wogen die Kalkbruchstücke und lagern sie dort immer zahlreicher ab. So bilden sie endlich Ansammlungen von Kalkzerreibsel, die gerade so hoch reichen, als die stärkste Sturmflut noch Material auf sie emporzupeitschen vermag.

Wenn sich dann das Meer beruhigt und auf sein normales Niveau zurückgezogen hat, beginnt der Wind den feinen Kalksand dünenartig zusammenzuwehen. Diese ursprünglich beweglichen losen Massen werden dann mit der Zeit durch die Tätigkeit des mit Kohlensäure beladenen Regenwassers mit einem kalkigen Bindemittel zusammengekittet und erhärten zu Fels, den angeschwemmter Schlamm und die Tätigkeit der allgegenwärtigen Flechten, jener für die Besiedelung von Neuland so überaus wichtigen, aus Algen und Pilzen zusammengesetzten Symbionten, zur Ansiedelung von höheren Pflanzen vorbereiten. Den anfänglich noch wenig fruchtbaren Boden düngen die mancherlei darauf hausenden Sandkrabben, deren Jugendstadien an das Meerwasser gebunden sind, die aber später sich davon mehr oder weniger emanzipieren, mit ihren nährsalzreichen Exkrementen. Dann tragen die Meeresströmungen mit Schwimmkörpern versehene, auf langen Wassertransport über salzige Flut eingerichtete Samen, vor allem Kokosnüsse, die so aus ihrer zentralamerikanischen Heimat über die ganze Tropenwelt verbreitet wurden, an den Strand, und allmählich bekleidet sich der grellweiße Kalkfels der zu neuem Leben erstandenen Koralleninsel mit einer mannigfaltigen Vegetation. Auch Tiere werden auf schwimmendem Holz oder durch eigenes Flugvermögen vom Sturme dahin verschlagen. Zuletzt kommt auf schwankendem Einbaum der Mensch, um solches Neuland, wie es stetsfort vor unseren Augen innerhalb der Tropengürtel, so weit die Riffkorallen gedeihen, entsteht, als Herrscher über die Natur in Besitz zu nehmen.

Ein solches landaufbauendes Korallenriff erscheint uns in seinen lebendigen Teilen als ein bunter farbenprächtiger Teppich, der uns durch das kristallblaue salzige Wasser entgegenschimmert. Professor Johann Walther in Jena beschreibt uns diesen Anblick in einem Aufsatze der „Mutter Erde“ vom Jahre 1899, betitelt die „Korallenriffe von Ceylon“ in folgender Weise:

„Wenn ein Laie vor die Aufgabe gestellt würde, ein Korallenriff zu malen, so würde er wahrscheinlich recht viel Rot auf seine Palette legen. Aber wir haben schon erwähnt, daß die rote Edelkoralle auf den Korallenriffen nicht heimisch ist. Andere Farben müssen wir wählen, wenn wir versuchen wollen, die Farbenpracht eines Korallenriffes wiederzugeben. Braun und Gelb, vom sammetfarbenen Olivbraun bis zum leuchtenden Rotgelb; Grün, vom warmen Moosgrün bis zum hellen Malachit, Blau, um tiefe Schatten zu malen, und Violett, um die Spitzen der Korallenäste damit zu verzieren. Und wenn wir so mit den Hauptfarben versehen sind, dann müssen wir noch eine andere Palette mit Hunderten von Nuancen in allen Farben des Regenbogens bedecken.

Fig. 78. Ein während der Ebbe teilweise von Wasser entblößtes Korallenriff im Gebiete des großen australischen Barrierenriffs. (Nach Photogramm von Sevill Kent.)

Was die moderne Anilintechnik erfunden hat, was unsere neueste Malerschule mit farbenfrohem Pinsel auf die Leinwand trägt, alle diese leuchtenden und abgedämpften Feinheiten würde man brauchen, um den ganzen Zauber wiederzugeben, den ein tropisches Korallenriff ausstrahlt.

Der allgemeine Charakter eines Korallenriffs entspricht ungefähr dem Bilde eines schöngepflegten Gartens, den wir von oben betrachten. Grüne Büsche, mit bunten Blüten bedeckt, bilden hohe Gruppen, zwischen denen schmale Pfade sich bald zu breiten Plätzen erweitern, bald in einer schattigen Grotte münden. Hellgrüne Rasenplätze sind mit farbenreichen Teppichbeeten bedeckt, und schmale Wege verlieren sich in größeren

Sandflächen. Bald ragen die Korallenstöcke bei tiefer Ebbe ganz aus dem Wasser hervor und schützen sich durch einen gallertartigen Schleim vor den austrocknenden Strahlen der Sonne, bald gähnt uns eine tiefe dunkle Höhle entgegen, deren Rand mit weit ausladenden Korallenschirmen wie mit gotischem Schnitzwerk besetzt erscheint.

Die Riffkorallen sind Tierstöcke. Als eine kaum stecknadelkopfgroße Larve schwimmt die jugendliche Koralle eine Zeit lang im Wasser umher, dann setzt sie sich am Meeresgrunde fest und beginnt zierliche Knospen zu treiben. Mehr und mehr wächst das Tierchen heran, die Knospen gabeln und teilen sich immer wieder aufs neue, und während im Innern des Stockes ein festes Kalkgerüst abgeschieden wird, wächst derselbe allmählich an Höhe und Breite. Ich besitze einen Korallenstock, der auf einem submarinen Kabel im Laufe von 5 Jahren oder weniger die Größe einer kleinen Hand erreicht hat. Die Korallen sind meist sehr lichthungrig, und wie die Blumen an einem blühenden Strauch alle ihre Kelche der Sonne zuwenden, so wachsen die meisten Korallenäste in der Art aus einander hervor, daß sich auf dem Wurzelstock eine oft 3 m breite schirmförmige Platte bildet, bestehend aus zahllosen Ästen, jeder besetzt mit vielen Einzelpersonen. Ein solch großer Stock zählt dann wohl hunderttausend einzelne Tiere, die Nachkommen und Geschwister der ursprünglich freischwimmenden Larve. Im Roten Meer und auf vielen anderen Riffgebieten überwiegen die breiten olivgrünen Korallen so sehr, daß das ganze Riff einen treppenartigen Aufbau erhält. Eine Platte wächst neben der anderen und über die anderen hinaus, und wenn man in dem metertiefen Wasser herumwandert, dann kann man wie auf flachen Stufen bald in die Höhe, bald in die Tiefe steigen. Neben den flachen Schirmplatten ist aber ein anderer Typus der Stockform weitverbreitet und bildet halbkugelige, kopfförmige oder unregelmäßig klumpige Stockmassen. In der Regel sitzen diese kugeligen Stöcke zwischen den Schirmen, am Rande der Höhlen und in allen Spalten versteckt. An der Nordwestküste von Ceylon aber nehmen diese so überhand, daß sie den Charakter des ganzen Riffes bestimmen. Poritesstücke von 2 m Höhe und 3 m Durchmesser stehen dort wie runde dunkelgrüne Türme mitten im Wasser; gewöhnlich ist ihr Scheitel kahl und abgestorben, um so intensiver aber wachsen die 2 mm großen Einzelpersonen zu Millionen an der Außenseite des Stockes. Die schirmförmig und halbkugelig wachsenden Korallenstöcke müssen nun naturgemäß zahllose große und kleine Lücken zwischen sich lassen, die als ein kompliziertes Höhlensystem das ganze Riff durchziehen, und die

sämtlich offen bleiben würden, wenn nicht eine Fülle von anderen Meerestieren an ihrer Ausfüllung arbeitete.

So wie auf einer blühenden Waldwiese zahllose Insekten sich sammeln, so sind die untermeerischen Korallengärten belebt von ungeheuren Mengen anderer Tiere. Schnecken und Muscheln, Seeigel und Seesterne, Schwämme und Würmer kriechen überall umher, und wenn wir einen ästigen Korallenstock mit dem Hammer zerschlagen, so fallen gewiß hundert bunter Krebschen heraus, die zwischen den Ästen leben und jagen. Fast alle diese Tiere besitzen kalkige Panzer und Skelette, die sich nach ihrem Tode anhäufen, von allerlei Krebsen zerknackt, von Fischen zerbissen und zu einem feinkörnigen Kalksand zermahlen werden, der die meisten Lücken zwischen den wachsenden Korallenstöcken ausfüllt. So setzt sich also das wachsende Riff aus zwei Elementen zusammen, aus den kompakten Riffkorallen, die große Lückensysteme zwischen sich lassen, und den riffbildenden Tieren, die mit ihren Kalkresten allmählich diese Höhlen ausfüllen.

Zinnoberrote Seeschwämme bilden regungslose, fleischige Krusten, purpurne Seerosen und fußhohe olivgrüne Alcyonarien strecken ihre zahllosen Tentakeln im Wasser aus, grüne Fadenalgen bilden zarte Rasen und bunte pflanzenfressende Schnecken kriechen in Menge dazwischen herum. Hier leuchtet uns ein wellenförmiges spangrünes Band entgegen, es ist der Mantelsaum einer Riesenmuschel, die in einer Rifflücke sitzt, dort wandert eine rotgefleckte Languste mit ellenlangen Fühlhörnern nach Beute spähend umher. Hier sitzen tiefschwarze Seeigel, dort bemerken wir die fußlangen orangegelben Arme eines riesigen Seesterns. Eine große Schildpattschildkröte rudert schwerfällig durch das Wasser, und pfeilschnell jagt ein meterlanger Hai an uns vorüber. Wie Kolibris um blühende Gewächse, so spielen bunte Fische um die Riffwände, bald in goldenem Zinnober leuchtend, bald mit abenteuerlich gefleckten Flossen. Eine stachelige Kugel treibt auf dem Wasser, es ist der Kugelfisch, dessen Haut durch zollange Stacheln gegen alle Angriffe geschützt erscheint.

Obwohl seit einem Jahrhundert zahllose Zoologen die Tierwelt der Korallenriffe gesammelt und beschrieben haben, so sind doch hier noch reiche Schätze zu heben, besonders wenn wir biologisch denkend die mannigfaltigen Wechselbeziehungen zwischen diesen verschiedenartigen Lebewesen untersuchen. Die Nahrung der Riffkorallen, der Kampf ums Dasein in dieser lebensvollen Genossenschaft, die Schicksale der absterbenden Tiere bieten zahllose Probleme von hohem Interesse. Aber

nicht minder lehrreich ist ein Korallenriff für den Geologen. Ist es doch seine Aufgabe, die Bildungsgeschichte der Erde und der die Erdrinde zusammensetzenden Gesteine zu erforschen.

Aus fast allen Perioden der Erdgeschichte sind uns Korallen und korallenähnliche Tiere erhalten, die oft durch ihre Anhäufungen ganze Kalkberge zusammensetzen. Die silurischen Kalkfelsen von Holland, die devonischen Klippen der Eifel, die karbonischen Kalkstöcke in Yorkshire, die Zechsteindolomite des Orlagaues, die mächtigen Dolomitberge in Südtirol, die der Triasperiode angehören, die malerischen Jurafelsen der fränkischen Schweiz, die Kreidekalke der Insel Capri und viele ähnliche Ablagerungen enthalten entweder direkt große Massen riffbildender Korallen oder zeigen in ihrer Form eine so große Ähnlichkeit mit den Korallenriffen der jetzigen Meere, daß man an eine ähnliche Entstehung denken muß.

Die ältere Geologenschule begnügte sich allerdings damit, in den Bergen nach Versteinerungen zu suchen und ihre seltsamen Gestalten zu beschreiben. Aber immer mehr hat sich die Überzeugung Bahn gebrochen, daß wir die Absätze und die Tierwelt eines versteinerten Meeres nur dann richtig deuten und wissenschaftlich erklären können, wenn wir den Boden des heutigen Meeres damit vergleichen und das Tierleben der heutigen Ozeane unserer Arbeit zugrundelegen. Die Gesteine und die Versteinerungen in den Bergen des Landes stellen uns Probleme, die wir nur am Meeresgrunde lösen können, und die toten Steine werden uns erst dann verständlich, wenn wir untersucht haben, wie die Kalkfelsen am Meeresboden wachsen. So reicht der Geologe dem Zoologen und dem Ozeanologen die Hand, um gemeinsam die großen Probleme der Erdgeschichte zu erforschen."

An allen Küsten des Weltmeers bewegt sich der Meeresspiegel langsam auf und nieder. Wenn er auch für uns stille zu stehen scheint, so kann doch der Betrag, um welchen hier ganze Ländermassen steigen und dort sinken, schon im Laufe von Jahrhunderten ganz gut sich bemerkbar machen. Weite Meeresteile, besonders der Indische und Stille Ozean, sind jedenfalls seit Hunderttausenden von Jahren in beständigem Sinken begriffen, und in dem Maße, als der Meeresspiegel, wenn auch äußerst langsam, sich hebt, bauen die unten absterbenden Riffkorallen nach oben weiter. So konnten jene *ringförmigen Koralleninseln* entstehen, die wir hier in überaus großer Zahl beobachten. Nach außen stürzen sie beinahe senkrecht zur Tiefsee hinab und innen bergen sie einen kreisrunden flachen See, die sogenannte *Lagune*. Diese eigen-

tümlichen palmenbewachsenen Korallenriffinseln, die sich nur wenige Meter über das Meer erheben und oft von schmalen Wasserstraßen durchzogen sind, welche die ruhige Lagune mit dem ringsherum brandenden Ozeane verbinden, heißt man nach der Bezeichnung der Einwohner der Lakkadiven an der Westküste von Indien Atolle, eine Benennung, welche die wissenschaftliche Terminologie für die von Korallen gebauten Ringinseln übernommen hat.

Der Archipel der Lakkadiven besteht aus 13 solcher steil zur Tiefsee abstürzender Koralleninseln, welche ebenso wie die noch viel zahlreicheren, südlich davon gelegenen Malediven die letzten sichtbaren Überreste des gegen 5000 m hinabgesunkenen sogenannten Gondwanalandes sind. Wie der größte Naturforscher des vergangenen Jahrhunderts, Charles Darwin, es zuerst aussprach, sind diese in Tiefen von 4000 m und mehr wurzelnden Koralleninseln dadurch entstanden, daß an den flachen Küsten dieses jetzt versunkenen Landes angesiedelte Riffkorallen entsprechend dem Absinken desselben in die Tiefe nach oben weiterwuchsen. Zuletzt ragten nur noch die höchsten Berge als Inseln aus dem Meere hervor. Um diese bauten nun die Korallen ihre Riffe, und bauten sie weiter, als auch die Inseln schon längst ganz untergetaucht waren. Dabei wuchsen die Riffe zu immer größeren Kreisen aus, indem die Korallen am Rande derselben, wo ihnen durch die Brandung reichlichere Nahrung zugetragen wurde, besser ernährt wurden als in der Mitte. So mußten die über die versunkenen Bergspitzen emporwachsenden Korallenriffe wie große flache Trichter immer mehr nach außen wachsen und in ihrer Mitte je einen runden See umschließen, den wir eben als Lagune bezeichnen.

Diese so einfache und einleuchtende Darwinsche Rifftheorie, die anfänglich allgemeine Annahme fand, erfuhr zuerst in England, dann auch in Deutschland immer heftigere Opposition, indem man ihr entgegenhielt, es gebe keine dicken, mächtigen Korallenriffe; die Atolle bestünden ganz einfach aus einem Fundament von meist vulkanischem Gestein, auf dem nur ganz oberflächlich eine dünne Kruste von Korallenkalk sitze. Gegen 20 Jahre dauerte der erbitterte Streit, und die Zahl der Anhänger Darwins war recht klein geworden, da sandten im Jahre 1896 die praktischen Engländer ein Kriegsschiff aus, das auf einem Atoll durch eine Tiefenbohrung die Dicke des Korallenfelsens untersuchen sollte. Die Expedition mißglückte, weil in einer Tiefe von 60 m weicher Triebsand ein Weiterbohren unmöglich machte. Im Jahre 1897 nahm aber die australische Regierung die Rifferpedition wieder auf und ließ auf

dem Atoll Funafuti in der Südsee bohren. Am 12. Oktober erbohrte man nun dort reinen Korallenfelsen bis zu einer Tiefe von 190 m. Darwin hatte glänzend gesiegt. Denn wenn Riffkorallen niemals tiefer als 40 m leben können, so ist schon ein Korallenfels von 190 m Dicke ein sicherer Beweis dafür, daß eine Senkung hier stattgefunden haben muß. In diesem Falle hatte aber die Senkung weit mehr als 190 m

Fig. 79. Der 2565 m hohe Schlern bei Bozen als ein in Dolomit umgewandeltes und nachträglich gehobenes Korallenriff der Triaszeit (nach Photogramm von Würthle und Sohn).

betragen; denn man war noch lange nicht am Liegenden des Riffs angelangt.

Das Resultat dieser hochwichtigen Expedition war ein neuer Beweis dafür, daß der atollbesetzte Boden des Indischen und Stillen Ozeans ein Senkungsfeld ist, was man aus mancherlei anderen Gründen schon angenommen hatte. Jetzt wissen wir mit aller Sicherheit, daß wie die Korallenriffe der Südsee, beispielsweise auch der mehrere hundert Meter hohe Schlern bei Bozen, ferner die Triffelwand bei Altaussee und andere

Digitized by Google

ähnliche, keinerlei Schichtung zeigende, überaus kompakte Kalkmassen solche über sinkendem Lande der Triaszeit aufgetürmte versteinerte Korallenriffe sind. Über sie schreibt Joh. Walther in Fortsetzung seiner Ausführungen über die Korallenriffe Ceylons:

„Kühn und trotzig ragen die Kalkwände des Schlernplateaus und die stolzen Gipfel des Rosengartens in den blauen Himmel, und wenn wir von Bozen hinaufsteigen nach den Matten der Seisseralp, dann umgeben uns rings die malerischen Dolomitberge. Blaue Enziane schmücken den Rasenteppich der Alp, Edelweißsterne prangen in den Spalten der Felsen. Doch wie arm und eintönig ist die Farbenpracht der Alpenflora, wenn wir uns erinnern, daß uns versteinerte Korallenriffe rings umgeben. Wir wandern über den einstigen Meeresgrund, betrachten die abgerollten Korallenblöcke, die von der Riffwand in die Tiefe stürzten und in dem schlammigen Boden versanken; ein meterlanges Stück versteinertes Holz stammt von einer Palme, die einst hoch oben auf den Schlernklippen wuchs; und schön verzierte Schneckengehäuse und Muschelschalen schlägt unser Hammer aus dem Korallengestein heraus. Wenn dann im Westen die Sonne versinkt und Purpurglanz die Dolomitberge durchleuchtet, dann muß der Geologe zurückdenken an längst vergangene Zeiten der Erdgeschichte. Vor seinem Auge tauchen die farbenreichen Bilder ceylonischer Korallenriffe wieder auf, und im Geiste sieht er die zauberhafte Farbenpracht wieder aufleben, die einst hier geherrscht haben muß. Kristallklar wölbt sich das Firmament über den Fluten eines blauen Meeres, und mit verschwenderischer Pracht schmückt die Natur seine Tiefen. Jedes Stück Kalkstein wird lebendig und überall sehen wir in den leblosen Felsen die Überreste einer längst vergangenen Schöpfung wieder aufleben."

Wie in der Triaszeit unter hauptsächlicher Beteiligung von Korallen die Dolomiten aufgetürmt wurden, sind zur oberen Jurazeit durch den ganzen schweizerischen Jura bis Basel und weiter östlich mächtige Korallenriffe entstanden. Damals bestand hier ein seichtes Meer mit zahlreichen Inseln bestreut, die alle von gewaltigen Riffen umgeben waren. Zwischen hinein hausten in dichtbevölkerten Bänken Austern und zahlreiche andere Muscheln, die neben den Korallen mit der Zeit ganze Berge von Kalk lieferten. Besonders zur mittleren Malmzeit hat hier, wo einst ein ganz tropisch warmes Meer bestanden haben muß, ein außerordentlich üppiges Korallenleben in Riffen und Atollen ohne Zahl stattgefunden. In dem Maße, als der Boden des seichten Meeres sank, bauten die Korallen weiter, so daß 70 m mächtige Korallenkalke entstanden, die

im südlicheren Jura stellenweise bis 90 m anwachsen. Diese Korallenschicht, die aus ungeschichteten, ruppigen, außerordentlich schwer verwitterbaren weißen Felsmassen besteht, wurden bei der im Pliocän erfolgten Faltung des Jura mit den übrigen Schichten zu meist unregelmäßigen Gewölben emporgetürmt. Infolge ihrer großen Dichtigkeit als organisch gewachsene, einheitliche Masse setzten sie der Verwitterung

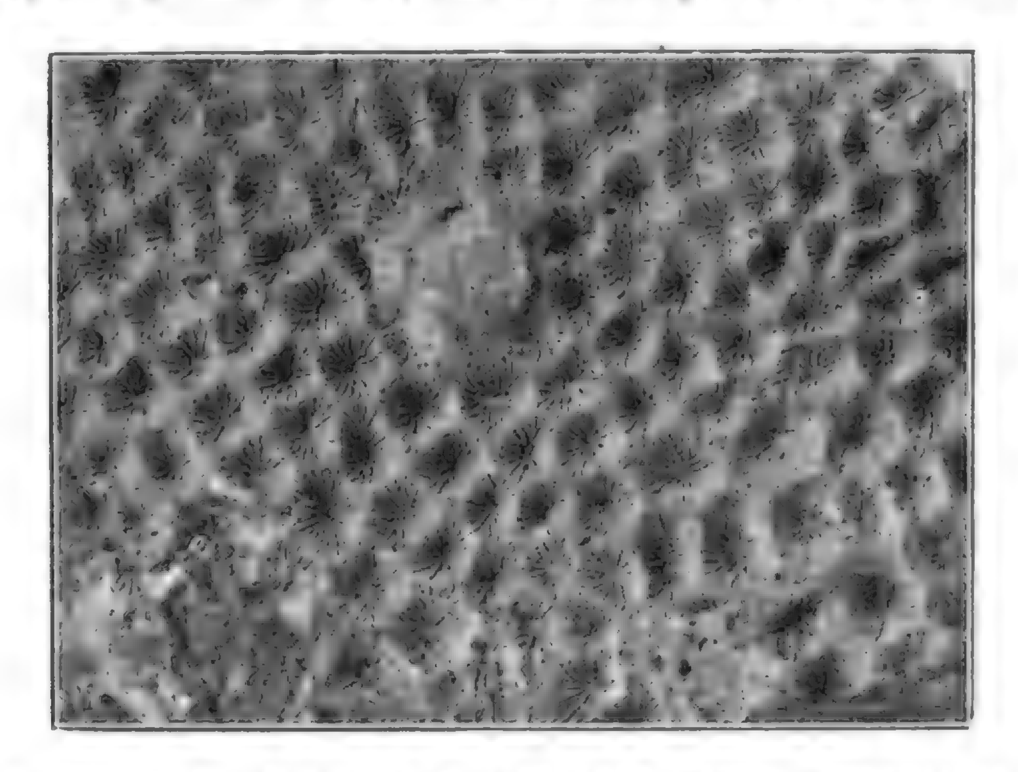


Fig. 80. Oberfläche des Kalkgerüstes einer Sternkoralle, Isastraea bernensis, aus dem mittleren Malm — den Naticaschichten des unteren Sequan — von Hochwald bei Basel in natürlicher Größe. (Original im Baseler Museum). Jeder einzelne vertiefte Stern entspricht einem Individuum des das seichte, warme Meer der jüngeren Jurazeit bewohnenden Korallenstocks. Etwas oberhalb der Mitte ist der Überrest des Stielfußes eines sich nach dessen Absterben darauf angesiedelten Haarsternes zu sehen.

den größten Widerstand entgegen. Viel besser als alle übrigen Gesteine, die infolge der Sedimentierung ein weit lockereres Gefüge haben, widerstanden sie der seit viel Hunderttausenden von Jahren an der Abtragung der Jurahöhen arbeitenden Erosion. Alles um sie herum sank auf weite Strecken zur Tiefe nieder als ein Opfer des unablässig an ihnen nagenden zirkulierenden Wassers; nur sie sind durch der Zeiten Lauf bis heute vielfach noch erhalten geblieben und fassen in ausgedehnter Weise in einigen hundert Metern Höhe die Muldentäler als weithin leuchtende weiße Felsabstürze ein. Diese trotzig über die waldigen Abhänge des Gebirges

emporragenden Korallenbänke wurden begreiflicherweise als äußerst solid fundierte, unnahbare Horste von den Dynastengeschlechtern des frühen Mittelalters zur Aufnahme ihrer stolzen Ritterburgen benützt. Und so sehen wir durch den ganzen Jura, wohin wir uns auch wenden mögen, überall heute noch die Ruinen dieser inzwischen verfallenen Burgen auf den klotzigen, weißen Kalkriffen des Gebirges thronen. Wie hat sich nicht die Welt gewandelt seit der Zeit, da diese Korallen in dem von gefräßigen Sauriern und deren hauptsächlichsten Beutetieren, den Ammoniten und Belemniten, wimmelnden Meeren vor etwa 60 bis 70 Millionen Jahren lebten und in gemeinschaftlichem Haushalte Knospe an Knospe treibend diese 70 m mächtigen Korallenbänke schufen! Ein besonders gut erhaltenes Spezimen einer solchen Tierkolonie sehen wir in der beigegebenen Abbildung, die eine Sternkoralle aus einer Korallenbank von Hochwald bei Basel darstellt.

Neben den Korallen, denen wir wegen ihrer ungemein großen Bedeutung für den Aufbau mächtiger Kalkmassen eine eingehendere Würdigung zuteil werden lassen mußten, haben auch die Echinodermen oder Stachelhäuter, zu denen Seeigel, Seesterne und Seelilien gehören, kalksteinbildend gewirkt. Es sind dies alles Formen, welche samt den Holothurien oder Seegurken und den ausgestorbenen Cystideen aus fünfstrahligen Seesternen hervorgingen. Besonders in früheren Erdperioden, wo sie sehr viel stärker als heute in zahllosen Arten vertreten waren, haben sie in größerer Menge Material zur Kalkbildung geliefert. Besonders gilt dies von den Crinoiden oder Haarsterne genannten Seelilien, welche in der Gegenwart nur noch in wenigen Gattungen vorzugsweise in der Tiefsee leben. In der Vorzeit müssen sie einen unvergleichlichen Reichtum an Formen wie eine ganz staunenswerte Zahl von Individuen entwickelt haben; denn in verschiedenen paläozoischen und mesozoischen Formationen haben sich oft sehr mächtige Kalkbänke aus einer Anhäufung ihrer meist zertrümmerten gegliederten Stiele gebildet. So gibt es Stücke aus dem Muschelkalke der mittleren Triaszeit, welche ganz aus Stielgliedern und einzelnen Kronenteilen eines in den damaligen Meeren äußerst verbreiteten Crinoiden, des Encrinus liliiformis, den unsere Abbildung zeigt, besteht. Eines der großartigsten Beispiele von Anhäufungen solcher Art findet sich nach Neumayr in den Karpaten in einem Gebiete an der Grenze von Ungarn und Galizien. Dort besteht fast der ganze mittlere Jura in der sogenannten südlichen Klippenregion von Neumarkt, südlich von Krakau, bis in die Gegend von Eperies im Saroser Komitate in Ungarn, aus überaus

mächtigen Anhäufungen von Crinoidenstielen. Seltener als diese treten die Seeigel und Seesterne als Gesteinsbildner auf. Erstere finden sich besonders in den Gebieten der oberen Kreide sehr häufig und sind oft mit Kieselsäure aus den ausgelaugten Kieselschalen der dabeiliegenden Radiolarien und Diatomeen zu Feuersteinknollen geworden.

Wie in der mittleren Trias im Muschelkalk mächtige Schichten von Kalk rein nur aus auskristallisierten Kalkspatrhomboëdern von Encrinus liliiformis bestehen, so sind die im Birstal bei Basel in 10 m Mächtigkeit entwickelten Crenularisschichten des mittleren Malms fast ganz aus den verkalkspateten Stacheln des als Hemicidaris crenularis bezeichneten Seeigels gebildet. Ebenso besteht die von den Welschen als dalle nacrée, d. h. perlmutterglänzende Platte, bezeichnete Schicht des oberen Doggers, welche tatsächlich Perlmutterglanz aufweist, aus lauter zu Kalkspat auskristallisierten Seeigelresten.

Fig. 81. Ein aus besonders gut erhaltenen Stengelgliedern des als Encrinus liliiformis bezeichneten Haarsterns des oberen oder weißen Jura zusammengesetzter Kalkstein in annähernd natürlicher Größe.

In ganz ungeheurer Menge haben dann besonders auch die Mollusken oder Weichtiere, insbesondere die zweischaligen Muscheln, Schnecken und nautilusartigen Kopffüßler oder Tintenfische, worunter in erster Linie die am Ende der Kreidezeit ausgestorbenen Ammoniten, durch die Anhäufung ihrer Schalen nach dem Absterben zur Bildung von mächtigen Schichten von Kalkgestein beigetragen. Große Flächen des nicht allzutiefen Meeresbodens sind mit dicken Schichten von feinem Muschelsand bedeckt. Wenn wir nun den buntgesprenkelten Sand genau betrachten, so erkennen wir darin die Bruchstücke von allerlei bunten Tierpanzern, die durch die Scheren räube-

rischer Krebse oder durch die breiten Kauzähne großer Fische zu feinem Sand zertrümmert worden sind und nicht nur alle Höhlungen und Lücken der Korallenriffe ausfüllen, sondern auch die Unebenheit des Meeresbodens ausgleichen. Die an den Strand geworfenen Muschelschalen und Schneckengehäuse werden solange von den dagegenbrandenden Wellen hin- und hergerollt, bis aus ihren Trümmern der feine,

Fig. 82. Muschelkonglomerat mit Ostraea, Turitella und anderen Schaltieren, deren Gehäuse selten ganz, meist jedoch von den Wogen der Brandung stark beschädigt, ja vollkommen zu Kalksand zerrieben wurde. Dieses in natürlicher Größe dargestellte Gesteinsstück des Baseler Museums ist eine Strandbildung aus dem mittleren Miocän der Tennikerfluh bei Basel und soll zeigen, wie Muschelkalke sich bilden.

aus weißen Kalkkörnern gebildete Küstensand entstanden ist, der im Laufe der Zeit zu festem Kalkstein oder, falls ihm ziemlich Sand beigemischt wurde, zu kalkigem Sandstein, wenn ihm dagegen viel Ton beigemengt ward, zu Kalkmergel erhärtet.

Die Muscheln und Schnecken, die vorwiegend in der Nähe des Strandes in wenig tiefem Wasser leben, haben hauptsächlich dort Gesteine gebildet. Da diese, je mehr sie sich in der ihnen reichliche Nahrung zutragenden Brandung ansiedelten, gezwungen waren, um dieser besser widerstehen zu können, sehr dickwandige Schalen zu bilden, so haben sie damit besonders ausgiebig gesteinsbildend gewirkt

und wir finden in dem von ihnen durch Abrollung in der Brandungszone entstandenen Gries, der dann später zu Fels erhärtete, noch sehr häufig mehr oder weniger gut erhaltene Schalenreste.

Während so die Muscheln und Schnecken oft sehr mächtige Schichten von Küstenkalk aufbauten, trugen die nautilusartigen Kopffüßler, die Ammoniten und Belemniten, mit ihren meist überaus hübsch geformten Schalen und Schulpen mehr zur Bildung von Tiefseegestein bei; denn als vorzügliche Schwimmer lebten sie vorzugsweise auf der hohen See, von wo ihre Gehäuse und Skeletteile nach ihrem Tode in die Tiefe versanken und sich mit der Zeit zu mächtigen Schichten anhäuften.

In Gegenden, wo, wie z. B. auf den britischen Inseln, hochpelagische d. h. dem offenen Meere angehörige Kalkbildungen aus früheren Perioden der Erdgeschichte weniger vertreten zu sein schienen, ergaben die Dünnschliffe verschiedener Kalke, daß gerade ihre Schalen in der Regel als wichtigste Elemente des Aufbaues derselben vorhanden waren.

Weit geringer als die Bedeutung der Tiere für die Kalkbildung ist diejenige der Pflanzen, von welchen überhaupt nur wasserbewohnende Kalkalgen in Betracht kommen. Aus der Vorzeit sind in dieser Beziehung namentlich die Dactyloporiden zu erwähnen, die in der Trias, besonders in der Gattung Gyroporella, gesteinsbildend auftreten, sowie die Lithothamnien, die in den seichten Gewässern der jüngeren Tertiärzeit massenhaft lebten und verschiedene Kalksteine, so besonders den Leithakalk, den gewöhnlichen Baustein von Wien, wesentlich zusammensetzen.

Wie in früheren Zeiten, geht auch heute noch sowohl im Meere als im Süßwasser eine Anhäufung von Kalk durch Vermittlung von Wasserpflanzen vor sich. In den Tiefen des Meeres wie in den stehenden Tümpeln des Flachlandes und den rieselnden Bächen der Gebirgsgegenden finden sich außer den Algen auch andere Gewächse, welche einen Teil der für ihren Assimilationsprozeß nötigen Kohlensäure durch Zersetzung des im umspülenden Wasser gelösten doppeltkohlensauren Kalkes gewinnen. Der im Wasser unlösliche einfachkohlensaure Kalk schlägt sich dann in Form von Krusten auf den Blättern und Stengeln der betreffenden Pflanzen nieder. Manche dieser Wasserpflanzen nehmen auch kohlensauren Kalk in die Substanz der Zellhaut auf, und wieder bei andern ist beides der Fall, d. h. sie sind nicht nur mit kohlensaurem Kalke außen inkrustiert, sondern es sind auch die Wandungen der Zellen ganz mit Kalk durchsetzt. In allen Bächen der Kalkgebirge, deren Wasser

reichlich doppeltkohlensauren Kalk in Lösung aus der Tiefe mitbringt, wie in den Tümpeln und Seen wuchern zahlreiche Moose, Armleuchtergewächse, Wasserranunkeln und Laichkräuter, welche ausgedehnte Bestände bilden. Sie beschlagen sich bald ganz mit Kalkkrusten, die nach dem Verwesen der betreffenden Pflanzen auf den Boden der Gewässer sinken und sich dort von Jahr zu Jahr mehr anhäufen. In dem Maße, als in den Moosen und Algen die älteren, unteren, ganz in Kalk eingebetteten Teile absterben, wachsen sie an der Spitze weiter, um denselben Prozeß ins Unendliche immer zu wiederholen. So verkalkt und erhöht sich der Boden der Rinnsale und Wasseransammlungen und es entstehen im Laufe der Zeit mächtige Bänke von Kalktuff als einer Süßwasserbildung.

In ähnlicher Weise entstehen im seichten, vom Licht durchfluteten Wasser der Meeresküsten die Nulliporenkalkbänke, welche in kühleren Meeren, wo die Korallen nicht mehr gedeihen, so beispielsweise im Adriatischen Meere, weite Küstenstrecken und zahlreiche Inseln mit mächtigen riffartigen Bildungen umsäumen. Solche hervorragende Erzeuger von Kalkbauten sind besonders zahlreiche Mitglieder der Familie der Florideen oder Rotalgen, die gesellig in großen Beständen wachsen, sich ganz dicht mit kohlensaurem Kalke inkrustieren und in dem Maße, als sie unten absterben, oben weiterwachsen. Stücke von solchen Nulliporenkalkbänken, die an ihrer Oberfläche in allen Nuancen von Rot und Braun, mit dem satten Grün anderer ebenfalls kalkabscheidender Algen dazwischen erstrahlen, machen, aus der Meerestiefe heraufgebracht, vollständig den Eindruck von Korallen. Indem nun Generationen auf Generationen viele hunderttausend Jahre hindurch ihre dichten Kalkinkrustationen aufeinanderhäufen, können so mit der Zeit auf langsam sinkendem Land ebenfalls ganze Kalkberge entstehen.

Wie der gewöhnliche Kalkstein ist auch der Dolomit durch die Kalk niederschlagende Tätigkeit von Organismen hauptsächlich des Meeres entstanden. Lange Zeit hindurch hatte man dieses Gestein überhaupt nicht vom gewöhnlichen Kalk unterschieden, bis der französische Mineralog Dolomieu, dem zu Ehren die Felsart später den Namen erhielt, im Jahre 1791 entdeckte, daß manche vermeintliche Kalksteine, deren massenhaftes Auftreten er besonders für das südöstliche Tirol hervorhob, mit Säuren sehr schwach oder gar nicht aufbrausen und etwas höheres spezifisches Gewicht als z. B. Marmor besitzen. Einige Jahre später fand man auch, daß dieser „Dolomit" eine wesentlich abweichende chemische Zusammensetzung besitzt, indem er statt aus kohlensaurem Kalke aus einer Verbindung von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia

Partie am Schlern bei Bozen.

Diese Steilwände bestehen aus einem mächtigen, um rund 2000 m gehobenen Korallenriffe der Triaszeit; daher die ruppigen Kalke, denen jegliche Schichtung fehlt.

Digitized by Google

besteht, so daß Normaldolomit ein Äquivalent von jeder der beiden Substanzen, nämlich 54,35 Prozent kohlensauren Kalk und 45,65 Prozent kohlensaure Magnesia enthält. Daneben aber finden sich Gesteine mit geringerem Magnesiagehalt, so daß vom vollständig dolomitisierten zum nicht dolomitisierten, also magnesiafreien kohlensauren Kalk alle Übergänge vorhanden sind.

Vom gewöhnlichen kohlensauren Kalke unterscheidet sich der Normal-

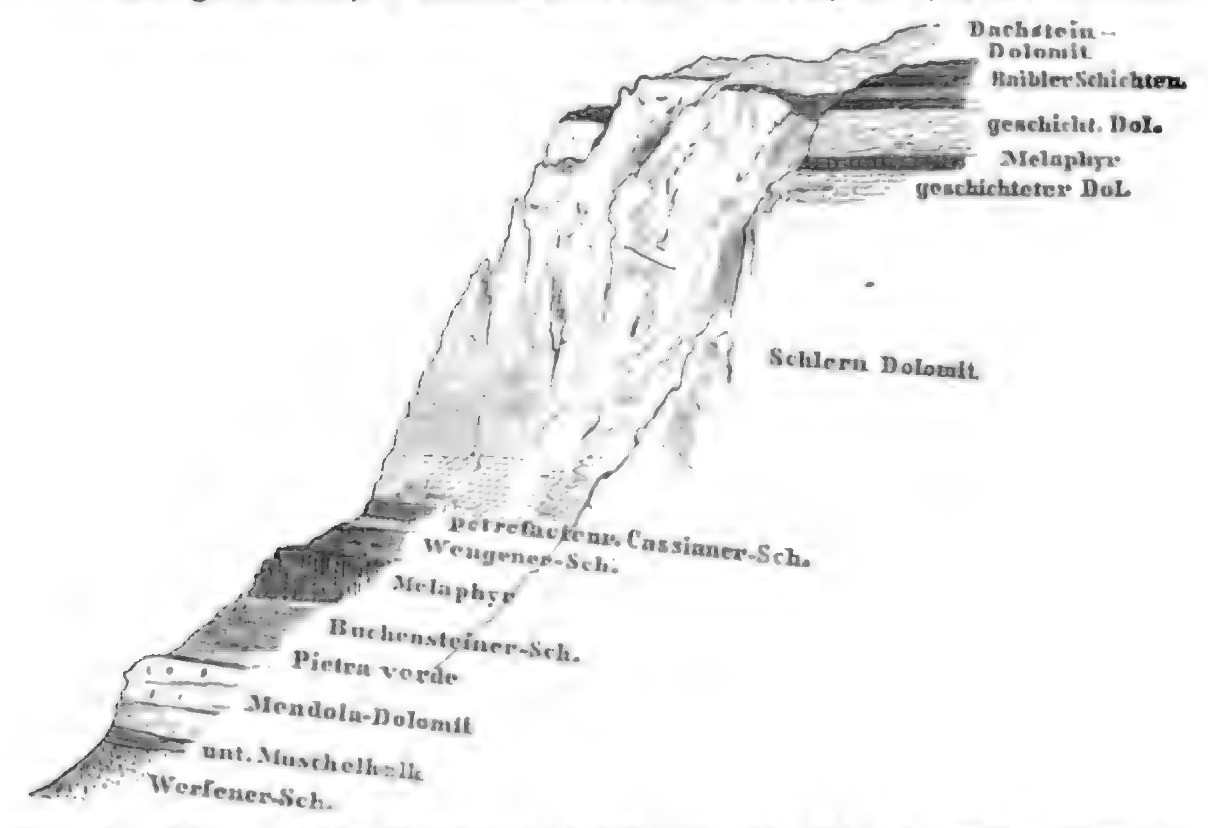


Fig. 83. Geologisches Profil des Schlern bei Bozen, rechts oben mit dem Profil der Schlernklamm. (Nach Fraas.) Erst ziemlich hoch über dem vulkanischen Melaphyr liegt der mächtige Schlerndolomit, der durch das völlige Fehlen einer Schichtung sich deutlich als Korallenbildung erweist. Alle diese Schichten gehören der Trias an.

dolomit auch durch seine größere Härte und eine ihm eigentümliche kristallinische Struktur, die jenem für gewöhnlich ganz fehlt. Zudem ist er in der Regel ganz undeutlich oder gar nicht geschichtet, sein Gefüge ist von zahlreichen Klüften und Höhlungen durchzogen und Versteinerungen von Tierresten fehlen ihm entweder ganz oder sind überaus selten und dann meist ganz schlecht erhalten.

Indem man fand, daß manche Kalkschichten in ihrer horizontalen Erstreckung mit langsam zunehmender Anreicherung von Magnesia in Dolomit übergehen, ergab sich daraus die bestimmte Tatsache, daß der Dolomit nur umgewandelter kohlensaurer Kalk ist. Der vor-

herrschenden geologischen Richtung seiner Zeit entsprechend hat Leopold von Buch die Dolomitisierung des Kalksteins durch die Einwirkung ungeheurer Mengen von Magnesiadämpfen erklärt, die gleichzeitig mit dem Ausbrechen von geschmolzenen Massen aus der Tiefe ausgeströmt sein sollen und den ursprünglich vorhandenen Kalk in Magnesia verwandelten. Seine Ansicht stützte er ganz wesentlich auf die Verhältnisse im berühmten Dolomitgebirge im südöstlichen Tirol, das sich in einer Mächtigkeit von 1000 m vom Etschtale bis nach Friaul erstreckt und durch die schroffen, wildzerrissenen Gipfel, die nur Folgen der schweren Verwitterbarkeit des Gesteines sind, der ganzen Gegend ihre wunderbare landschaftliche Schönheit verleiht. Dort in den Dolomiten treten nämlich sehr häufig unter dem Dolomite große Massen eines Eruptivgesteins, des Augitporphyrs, auf. Aber, ganz abgesehen davon, daß man bei Vulkanausbrüchen noch nie solche Exhalationen von Magnesiadämpfen beobachtet hat, deren Einwirkung auf eine 1000 m mächtige Kalkschicht vollends unzureichend wäre, muß die Theorie schon aus dem Grunde falsch sein, weil man den Dolomit sehr oft, z. B. im Fränkischen und Schweizer Jura, zwischen unverwandelten Kalkmassen an Orten findet, wo durchaus kein Eruptivgestein sich in der Nähe befindet. Immerhin kann ja ausnahmsweise einmal Kalkstein in der Nähe von eruptiven Silikatmassen durch Kontaktmetamorphose in Dolomit sich umwandeln, in welchem Falle er dann viele interessante Mineralien eingewachsen enthält; aber jedenfalls muß die Hauptmenge des Dolomits anderweitig entstanden sein.

Der Umstand, daß der Dolomit oft mit Gips zusammen vorkommt, führte dann zur Annahme, daß im Meerwasser gelöste schwefelsaure Magnesia in den Kalk eingedrungen, seine Magnesia an den Kalk abgegeben und so Dolomit gebildet habe, während die Schwefelsäure sich mit einer entsprechenden Menge von Kalk zu Gips verband. Immerhin zeigt das Experiment, daß diese Umwandlung nur bei sehr hohem Drucke und bei einer Temperatur von mehr als 100° C. vor sich geht, und zwar sowohl durch die Einwirkung von schwefelsaurer Magnesia, als auch von Chlormagnesia, die beide, wie wir gesehen haben, nächst dem Kochsalz die wichtigsten Salze im Meerwasser sind.

Man hat dann auch angenommen, daß Quellen, welche kohlensaure Magnesia enthalten, eine solche Umwandlung schon bei gewöhnlicher Temperatur zu bewirken vermögen, indem sie beim Hindurchsickern durch Kalkstein einen Teil des Kalkes auslaugen und Magnesia dafür zurücklassen. Andere sagten, daß kohlensaures Wasser aus einem magnesia-

haltigen Kalke so viel kohlensauren Kalk ausgelaugt habe, daß schließlich Dolomit daraus entstand. Solche Vorkommnisse sind möglich, aber sie bilden eine zu große Ausnahme, als daß sie bei der Bildung von ganzen Bergen aus Dolomit in Betracht kämen.

In der Mehrzahl der Fälle bilden die Dolomiten trotz ihrer oft sehr beträchtlichen Mächtigkeit ausgebreitete Lager, deren Ausdehnung die Dicke bei weitem übertrifft. Dabei schneiden sie gegen ihre Unterlage, die sehr häufig aus normalem Kalke besteht, mit einer normalen Schichtfläche ab. So hat Gümbel für die Dolomite des oberen Jura in Franken darauf aufmerksam gemacht, daß dort auf weite Strecken, was wir übrigens auch in den Trias- und Juraablagerungen in der Schweiz beobachten können, in allen Fällen eine ganz scharfe Scheidung zwischen auflagerndem Dolomit und darunter, wie darüber lagerndem Kalke zu beobachten ist und daß sehr oft beide in wenig mächtigen Bänken mit einander wechsellagern. Eine solche scharfe Abgrenzung zwischen Kalk und Dolomit, die sich genau an die Schichtflächen hält, kann nicht das Werk späterer chemischer Veränderung sein, sondern muß auf Unterschieden beruhen, die mit der Ablagerung der Schichten in ursprünglichem Zusammenhange stehen. Es bildet sich also zweifelsohne der Dolomit in der Regel primär durch Absatz von Kalkschalen von Meerestieren, die alle gewöhnlich einige Prozent kohlensaure Magnesia enthalten. Was aber speziell die Anhäufung solch kleiner Mengen von kohlensaurer Magnesia zu derartigen Massen bewirkt, daß Dolomit daraus entsteht, das ist uns vorläufig noch unbekannt. So hat Dana nachgewiesen, daß, während die gewöhnlichen Korallenriffe alle aus kohlensaurem Kalke bestehen, die Riffinsel Mathea in Ozeanien aus rezentem Dolomit besteht.

Wie der Kalkstein durch kalkbildende Organismen entsteht, so können sich mancherorts auf die gleiche Weise auch Ablagerungen von Kieselsäure durch das Anhäufen von daraus gebildeten Schalen von Tieren und Pflanzen bilden. So sind im Süßwasser nur Pflanzen, im Meere dagegen vorzugsweise Tiere an der Bildung von Kieselsäureablagerungen beteiligt. Unter den ersteren sind die winzigen einzelligen Diatomeen oder Kieselalgen die wichtigsten, von denen heute noch 2000 Arten existieren. Sie leben sowohl im süßen als im salzigen Wasser und sind von den Tiefen der tropischen Meere bis auf die Gletscher der Hochgebirge und der arktischen Gebiete verbreitet. Ihre Kieselpanzer bestehen aus zwei nahezu gleich großen Schalen, von denen die größere wie der Deckel einer Schachtel über die untere übergreift. In Süßwassertümpeln sich ablagernd bilden sie den Tripel und Polierschiefer, wie er beispiels-

weise in Bilin in Böhmen auftritt, sowie die bekanntlich zur Aufnahme des Nitroglyzerins bei der Herstellung von Dynamit verwendete Kieselguhr, die eine lockere kreideweiße Masse bildet. Sie kommt in der norddeutschen Ebene vielfach vor und der Untergrund eines großen Teiles von Berlin besteht aus einem Lager dieses Materials.

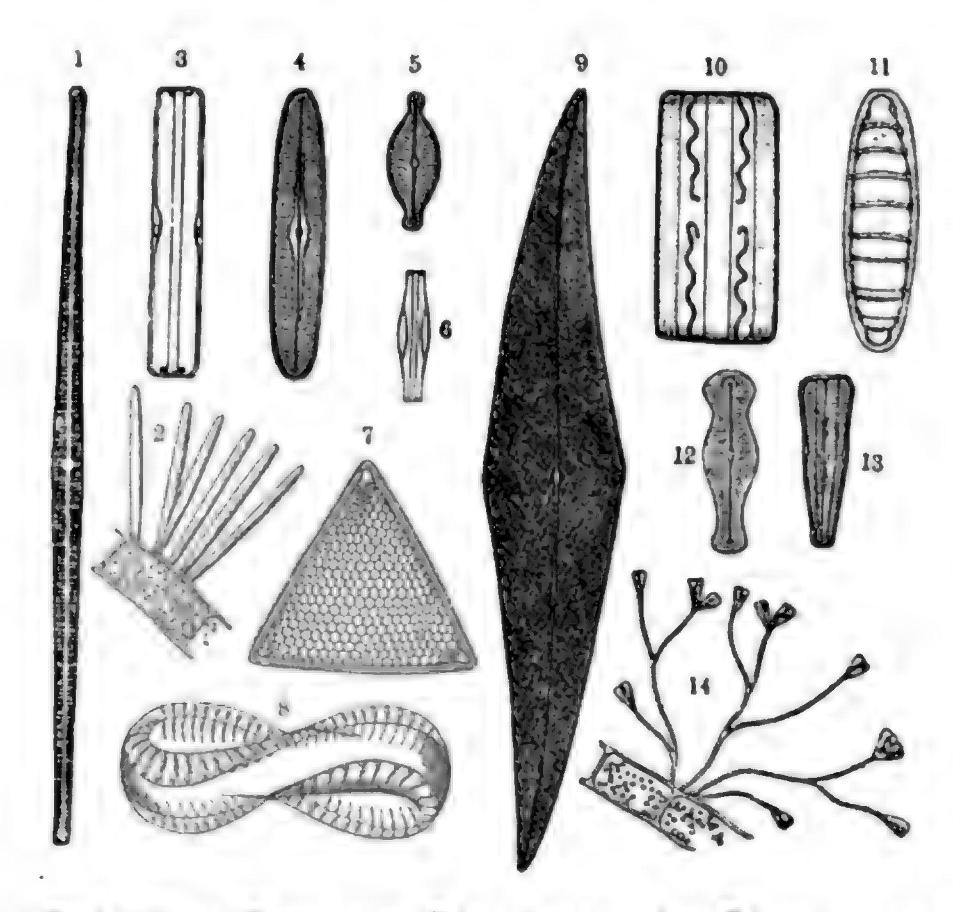


Fig. 84. Verschiedene Arten von Diatomeen oder Kieselalgen, stark vergrößert. 1. Syneda ulna, 2. Mehrere Exemplare der vorigen Art auf einer grünen Fadenalge sitzend, 3. u. 4. Navicula liber von der Seite und von oben, 5. u. 6. Navicula tumida von oben und von der Seite, 7. Triceratium favus, 8. Campylodiscus spiralis, 9. Pleurosigma angulatum, 10 u. 11. Grammatophora serpentina von der Seite und von oben, 12. u. 13. Gomphonema capitatum von oben und von der Seite, 14. Dieselbe an verzweigten Trägern einer grünen Wasseralge aufsitzend.

Im Meere bilden sich, wie gesagt, kieselsaure Sedimente mehr aus tierischen Absätzen. Hier sind in erster Linie unter den Protozoen oder Urtieren die winzigen Radiolarien zu nennen, die höher organisiert sind als die bereits erwähnten Kalkschalen bildenden Foraminiferen, welch letztere aber an Individuenzahl und wahrscheinlich auch an Zahl der Arten ersteren bedeutend überlegen sind und deshalb als Gesteinsbildner eine weit größere Bedeutung besitzen.

Die Radiolarien sind ausschließlich Meerestiere, die sowohl pelagisch, d. h. in oberflächlicheren Schichten des Meeres treibend, als auch in der Tiefsee sehr verbreitet sind. Erstere schwimmen bei gutem Wetter vielfach ganz an der Oberfläche des Meeres, wo sie von den dort ebenfalls lebenden Planktonalgen leben; bei Regen oder Sturm dagegen steigen sie wie auch ihre Beutepflänzchen in tiefere Schichten hinab. Andere lichtempfindliche Arten kommen nur nachts oder bei bedecktem Himmel an die oberflächlichen Schichten, ziehen sich aber bei grellem Sonnenlichte stets in die schützende Tiefe zurück. Die in der Tiefsee bei 0° lebenden Arten haben meist kleinere und schwerfällig gebaute Schalen, während diejenigen der oberflächlich treibenden Radiolarien äußerst zierliche, teils nach einer Seite mündende Gehäuse, teils auch Strahlenkugeln bilden, woher auch der Name Strahlentiere herrührt. Bei allen diesen Planktontieren ist der Pol der höchst mannigfaltig in den zierlichsten Mustern gebauten und von feinsten Kieselnadeln umgebenden Kieselgehäuse frei von solchen Nadeln nach dem Müllerschen Gesetz, wonach keine der Strahlen senkrecht von oben nach unten steht, wenn das Tierchen im Wasser schwebt. Sie stehen vielmehr sämtlich schräg oder wagrecht zur Wasseroberfläche, bieten dem Wasser somit einen erheblichen Widerstand dar und ermöglichen es so den kleinen Tierchen, mühelos zu schweben.

Junge Radiolarien sind stets einkernig; erst später werden sie mehrkernig und bilden zuweilen auch kleine Kolonien. Sehr häufig leben sie in Symbiose, d. h. in Lebensgemeinschaft mit einzelligen winzigen gelbgrünen Algen, deren Stärkemehl sie teilweise für sich ausnützen, während die Algen außer dem Schutz in den stachelbewehrten Gehäusen auch die von den Tierchen ausgeschiedene Kohlensäure zur Assimilation aus direkter Quelle beziehen. So nützt ein Genosse dem andern und beide stellen sich in solcher Lebensgemeinschaft besser, als wenn jeder für sich allein lebte. Durch ihre höchst zierlichen, aus Kieselsäurenadeln aufgebauten Gitterskelette, in denen oft 2—5 Gitterkugeln in einander geschachtelt und durch Radialstacheln unter einander verbunden sind, strecken sie ihre Pseudopodien oder Scheinfüßchen aus Protoplasma zur Ergreifung der Nahrungspartikelchen aus, die sie damit umschließen und in sich aufnehmen.

Den größten Reichtum an Radiolarien weist in der Gegenwart der Stille Ozean auf. Sehr zahlreich sind sie auch im Indischen Ozean, während der Atlantische wesentlich ärmer an ihnen ist, dafür aber um so mehr ein- und mehrkammerige kalkschalenbildende Foraminiferen aufweist, die ebensolche Scheinfüßchen zur Nahrungsaufnahme ausstrecken,

aber wegen ihrer undurchsichtigen Kalkschalen, die nicht genügend Licht hindurchlassen, nie mit einzelligen Algen in Symbiose leben.

Vom Atlantischen Ozean wurde bereits mitgeteilt, daß in ihm überall vorherrschend kalkiger Globigerinenschlamm bis zu Tiefen von 4000 m sich abgelagert finde. In größere Tiefen fällt ja natürlich derselbe Absatz von pelagischen Foraminiferen, doch werden deren Kalkschalen in dem Maße, als sie in Tiefen unter 4000 m sinken, durch das kohlensäurehaltige Meerwasser aufgelöst. Diese Auflösung beobachten wir schon am Globigerinenschlamm, der wirklich zum Absatz gelangt, indem die ihn zusammensetzenden Kalkschälchen mit zunehmender Tiefe wie von Säure angeätzt erscheinen, an Zahl immer mehr zurücktreten und endlich ganz verschwinden. Dabei wird der durch seinen Kalkgehalt weiße Tiefseeton in Tiefen unter 4000 m grau und bald schokoladebraun durch Oxydation des sich in ihm sammelnden eisen-, nickel- und manganhaltigen Meteorstaubes, der dort ausschließlich zur Ablagerung gelangt. Aus ihm bringt das Schleppnetz außer Knollen von Braunstein, d. i. Mangansuperoxyd, Stücke von vulkanischem Glas oder Bimstein in Form des im vorhergehenden Abschnitte besprochenen Palagonits und den äußerst soliden, der Zersetzung und Auflösung größten Widerstand entgegenstellenden Ohrknochen (bulla tympani) von Walen, namentlich auch zahlreiche Haifischzähne nach oben. Alle diese Tierreste sind Überbleibsel von Individuen, deren übrige Knochen nach dem Absterben vom Meerwasser ganz aufgelöst wurden, was bei den Haien um so leichter möglich war, als sie nur ein knorpeliges Skelett besitzen.

Da nun in 6 bis 7000 m Tiefe ganz gewaltige Mengen von Haifischzähnen und Walfischohrkapseln sich angesammelt haben, kann man sich daraus einen Begriff machen, wie überaus langsam die Sedimentierung in der Tiefsee vor sich geht. Dies wird besonders durch die Tatsache klar gelegt, daß sich unter den Haifischzähnen des sogenannten roten Tiefseeschlammes auch solche von schon längst ausgestorbenen Gattungen, wie des Carcharodon megalodon d. h. des großzahnigen Haifischzähners finden. Dieser Riesenhai, von über 10 m Länge im ausgewachsenen Zustand, war der Beherrscher der Meere der Tertiärzeit, dessen Vorfahren am Schlusse der Sekundärzeit die gewaltigen Scharen der Ichthyosaurier und Plesiosaurier ausrotteten und die einst meerbewohnenden Krokodile nur dadurch vor dem Aussterben bewahrten, daß diese sich vor ihnen in die Flüsse zu retten vermochten, wo sie vor ihren mit gegen zwei m breiten und mit Hunderten von über 10 cm langen Zähnen gespickten Mäulern bewehrten Feinden, die ihnen, wie

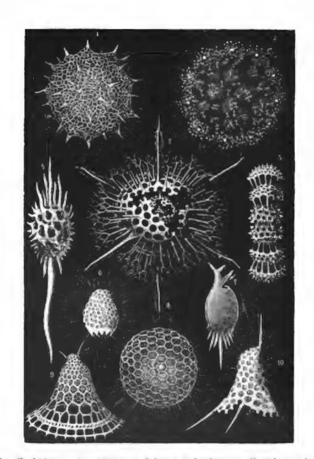


Fig. 85. Verschiedene der 4318 von Häckel beschriebenen Radiolarien oder Strahlentiere bei sehr starker Vergrößerung. Die noch lebenden Exemplare sind durch das Aussenden der Pseudopodien oder Scheinfüße durch die Lücken des zierlichen Gitterwerks gekennzeichnet. Damit ergreifen und verzehren sie ihre aus winzigen einzelligen Algen, meist Diatomeen, bestehende Nahrung. 1. Rhizosphaera leptomita, 2. Sphaerozoum Ovodimare, 3. Actinomma drymodes mit drei in einander steckenden Hohlkugeln, von denen die beiden äußeren erbrochen sind, um die innerste erkennen zu lassen, 4. Lithomespilus flammabundus, 5. Ommatocampe nereides, 6. Carpocanium Diadema, 7. Challengeron Willemoesii, eine echte Tiefseeform, 8. Heliosphaera inermis, 9. Clathrocyclas Jonis, 10. Dictyophimus Tripus.

Digitized by Google

allem übrigen Getier, das sie zu überwältigen vermochten, eifrig nachstellten, ein letztes Asyl fanden und sie sogar noch überdauerten. Spätestens zur Pliocänzeit ist dieser Riesenhai von der Bildfläche verschwunden, aber seine Zähne liegen in den größten Meerestiefen im roten Tiefseetone noch so oberflächlich, daß das den Schlamm am Grunde aufwühlende Schleppnetz sie mit denen heute noch lebender Haifischarten ergreift und aus ewigem Dunkel ans helle Tageslicht befördert. Obschon also weit mehr als $1^1/_2$ Millionen Jahre seit dem Aussterben dieses ungemütlichen Gesellen, des Carcharodon, vergangen sind, hat sich ein so geringer Absatz am Boden der größten Meerestiefen gesammelt, daß seine Zähne ganz oberflächlich liegen, sonst könnten sie nicht vom Schleppnetz ergriffen und zu uns emporgebracht werden. So überaus schwach sedimentieren die größten Meerestiefen, die vielmehr alles, was in ihren Bereich gelangt, aufzulösen versuchen.

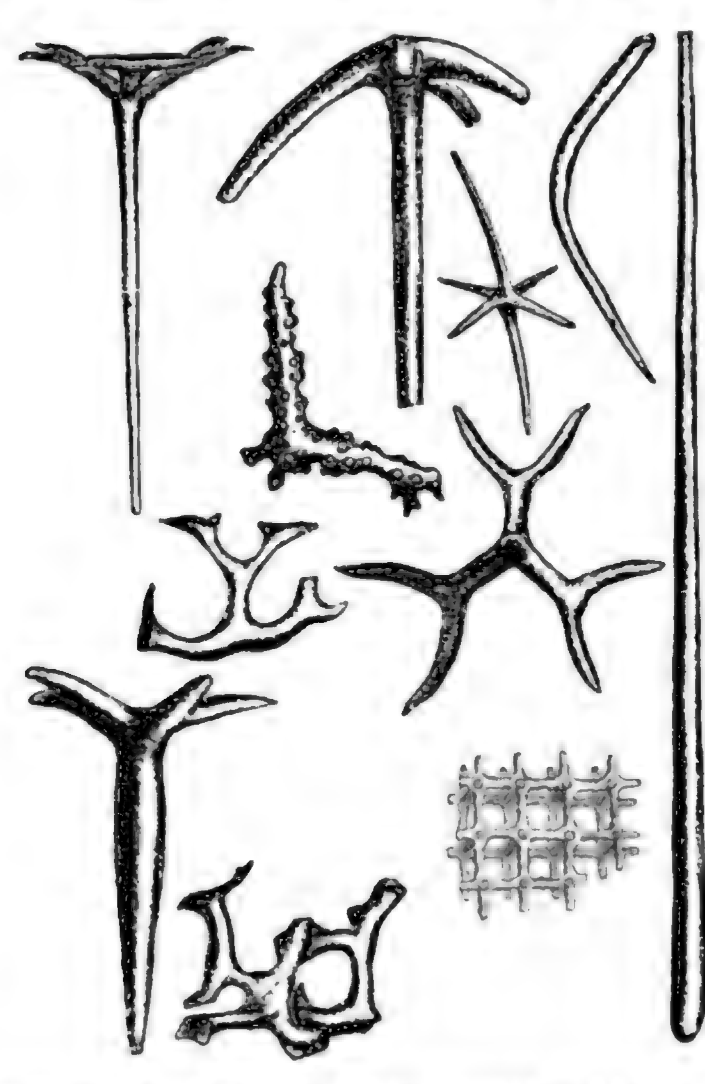


Fig. 86. Aus Kieselsäure bestehende Nadeln verschiedener fossiler Meeresschwämme (Nach Zittel.)

Meilenweite Strecken des Meeresgrundes, besonders auch der kälteren Meere, sind mit dem Kieselschlamme von Radiolarienschalen bedeckt. Und wie sie heute gesteinsbildend auftreten, taten sie es zu allen Zeiten. Aus ihnen sind vorzugsweise die Kieselschiefer aufgebaut, die sich schon zur Silur- und Karbonzeit finden. Ja in Dünnschliffen von Kieselschiefern aus vorkambrischen Schichten der Bretagne hat man sie schon nachgewiesen. Es sind dies damit überhaupt die ältesten bisher bekannt gewordenen Organismen der Erde, die aus Gesteinen stammen, in welchen bisher noch keine deutlichen Spuren von Lebewesen, außer amorphem

Kalk und Kohle, die ebenfalls darauf hindeuten, nachgewiesen werden konnten.

In manchen kieseligen Ablagerungsprodukten, wie den namentlich aus der oberen Kreide bekannten Feuersteinknollen, sind neben Diatomeen und Radiolarien besonders auch Kieselschwämme, die in ihrem Mesoderm von Kieselnadeln erfüllt sind, als Gesteinsbildner tätig gewesen. Früher waren diese Organismen nicht nur viel mannigfaltiger entwickelt, sondern viel häufiger als heute, wo sie sich in wenigen, aber wundervollen Arten in größere Meerestiefen zurückgezogen haben. Die Feuersteinknauer der weißen Schreibkreide bestehen vorzugsweise aus ihren Kieselnadeln. Wenn man den weißen, zerreiblichen Überzug, der diese bedeckt, unter dem Mikroskope untersucht, so sieht man deutlich, daß er fast ganz aus solchen Schwammnadeln besteht, die in der Außenschicht noch gut erhalten sind, nach Innen zu aber zu dichtem Feuerstein zusammenwachsen und infolge dessen ganz unkenntlich sind. Englische Forscher haben an einem einzigen solchen Knollen aus der obersten Kreidezeit Reste von nicht weniger als 32 Gattungen und 38 Arten von Kieselschwämmen festgestellt, also eine gegenüber der daran so armen Jetztzeit überraschende Fülle von Formen in einer verhältnismäßig gar nicht sehr weit von der Gegenwart zurückliegenden Zeit; denn sie mögen vor etwa 10 Millionen Jahren gelebt haben.

Die letzten noch von uns zu besprechenden organischen Ablagerungen betreffen die Kohlengesteine. Jedermann weiß, daß unsere brennbare Steinkohle aus zu Kohle gewordenen Leibern von Pflanzen der oberen Steinkohlenformation bestehen, die durch eine unter Luftabschluß vor sich gegangene sogenannte trockene Destillation über 200 Millionen Jahre hindurch sich bis zur Gegenwart erhalten haben. Bei ihrem Verbrennen verbindet sich der in ihnen enthaltene Kohlenstoff mit dem Sauerstoffe der Luft zu Kohlensäure. Dabei wird die so lange latent gebliebene potentielle Energie der Sonnenstrahlen in die kinetische Energie des strahlenden und wärmenden Lichtes umgewandelt.

Aller Holzstoff der Pflanze besteht, wie wir dies beim Verkohlen derselben sehen, vorzugsweise aus Kohlenstoff, welcher die Hälfte der festen Substanz überhaupt bildet, den die Pflanze während ihres Lebens durch Vermittlung der Energie der Sonnenstrahlen aus der nur in kleiner Menge in der umgebenden Luft enthaltenen Kohlensäure abspaltet und in sich aufnimmt, während sie den Sauerstoff an die sie durchspülende Luft zurückgibt. Bei der Fäulnis wird dieser Kohlenstoff durch die Tätigkeit der sich davon ernährenden Bakterien, wenn

auch langsamer, so doch ganz gleich wie bei der Verbrennung durch Verbindung mit dem Sauerstoffe der Luft aufs neue oxydiert, d. h. zu Kohlensäure verbrannt. Nur in den Moorgründen zerfallen die von den konservierenden Humussäuren durchdrungenen, abgestorbenen Pflanzenstoffe nicht in Kohlensäure, Wasser und Ammoniak, sondern erhalten sich der Form und dem Gewichte nach fast unverändert, indem sie in Torf übergehen.

Wie die Torfmoose und die andern unscheinbaren Bewohner der Torfmoore, die überhaupt nur in den gemäßigten Klimaten vorkommen,

Fig. 87. Braunkohlenriff am linken Enimufer in Südsumatra. Im Hintergrund zwei Andesitgipfel nach Photogramm von Dr. A. Tobler.

wird auch darein eingeschwemmtes Holz unter Abschluß des Sauerstoffs der Luft langsam entgast, wobei aus 1 Atom Kohlenstoff und 4 Atomen Wasserstoff zusammengesetztes Sumpfgas, das man in der Wissenschaft als Methan bezeichnet, entweicht. Diese trockene Destillation geht, wenn ein Torfmoor mit tonigem Schlick und darüber mit Sand und anderweitigen Gesteinsablagerungen bedeckt ist und unter immer größeren Druck gerät, wenn möglich der Pressung bei der Gebirgsbildung ausgesetzt wird, immer weiter, bis schließlich der im Holzstoff ursprünglich enthaltene Sauerstoff und Wasserstoff ganz ausgetrieben sind und nur noch reiner Kohlenstoff als Graphit übrig bleibt.

Digitized by Google

Die allmähliche Anreicherung an Kohlenstoff können wir sehr gut im Laufe der geologischen Entwicklung beobachten. Während die Holzfaser 50 Teile Kohlenstoff enthält, enthält der rezente bis diluviale Torf 59 Teile Kohlenstoff, die diluviale bis tertiäre Braunkohle, der Lignit, 69 Teile Kohlenstoff, die mesozoische bis paläozoische Steinkohle 75 bis 84 Teile Kohlenstoff, der paläozoische Anthracit 92 bis 95 Teile, bis schließlich der nur in archäischen Schichten vorkommende Graphit, aus welchem unsere Bleistifte verfertigt werden, nur noch aus reinem Kohlenstoff besteht.

Dieser Zersetzungs- und Entgasungsprozeß geht unter gewöhnlichen

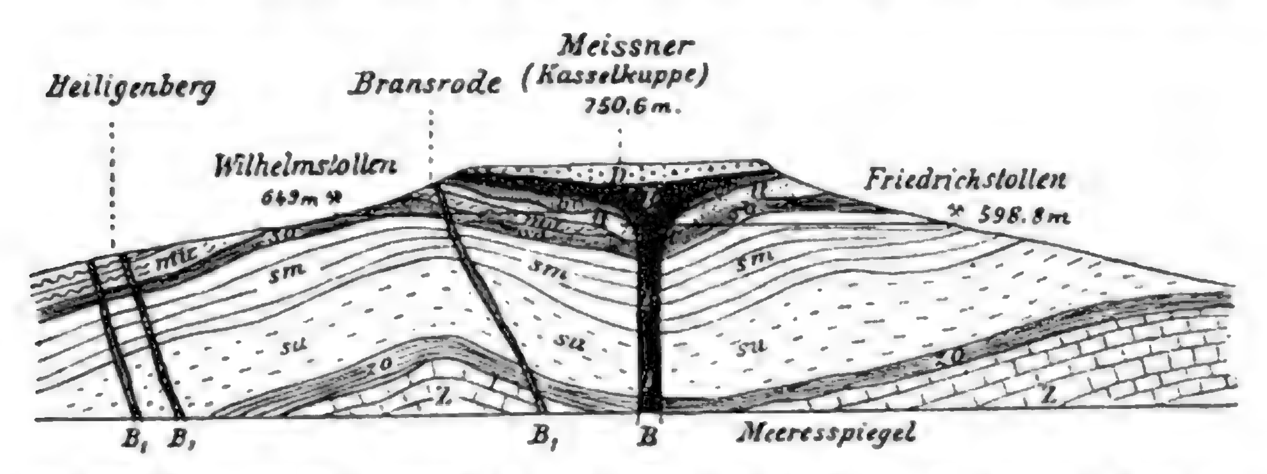


Fig. 88. Durchschnitt durch den Meißner. B Basalt, D Dolerit d. h. ein grobkörniger Basalt, br Braunkohle, tt tertiäre Tone und Sande, mu unterer Muschelkalk, su sm so unterer, mittlerer und oberer Buntsandstein, zo oberer Zechstein oder Perm, Z Zechstein oder Perm, B kleinere Basaltgänge.

Verhältnissen ganz außerordentlich langsam vor sich. Das beweisen schon die Steinkohlen, die, trotzdem sie schon zweihundert Millionen Jahre trocken destillieren, immer noch Sumpfgas und ähnliche flüchtige Kohlenwasserstoffverbindungen entwickeln, die, gewaltsam mit Sauerstoff sich verbindend, unter Explosion als „Schlagende Wetter" oder langsam zu Kohlensäure sich oxydierend in Form von giftigen „Schwaden" so häufig zum Unglücke des Bergmanns aus den Kohlenflözen ausströmen.

Außer Druck begünstigt besonders auch die Wärme den Verkohlungsprozeß. Am stärksten schreitet er da fort, wo beides zusammenwirkt. So sind die Steinkohlen des gefalteten Alleghanygebirges in Pennsylvanien durchgehend in Anthracit verwandelt, während die horizontal liegenden gleichalterigen Flöze westlich davon aus gewöhnlicher bituminöser Steinkohle bestehen. Ebenso sind die Flöze der Kohlenformation in den stark gefalteten Alpen in anthracitische Kohle umge-

wandelt, während die gleichalterige Kohle aus oberflächlichen, horizontal liegenden, nicht gepreßten Karbonschichten in Zentralrußland eine braunkohlenartige Beschaffenheit bewahrt hat. In China dagegen treffen wir in Gegenden, deren Boden zwar eben, aber alle Zeichen eines erloschenen einst steil gefalteten Gebirges an sich hat, Steinkohlen der Jurazeit an, die sich in ihrem Äußeren durchaus nicht von unseren sehr viel älteren Kohlen der Karbonzeit unterscheiden, weil eben bei ihnen der Verkohlungsprozeß durch die Pressung bei der Gebirgsbildung beschleunigt wurde.

Der Verkohlungsprozeß kann unter Umständen in Kontakt mit eruptiven Massen fast momentan vor sich gehen. Ein klassisches Vorkommen dieser Art bietet nach Gürich die als Meißner bezeichnete Höhe zwischen Werra und Fulda südöstlich von Kassel. Dort wird das Plateau des Berges, die sogenannte Kasselkuppe, von einer basaltischen Decke gebildet. Rings herum unter der Oberkante des Berges tritt ein mächtiges Braunkohlenflöz auf oligocänen Sanden und Tonen auf, welche ihrerseits auf Triasschichten ruhen. Die tertiäre Braunkohle ist abgebaut worden und dabei hat man gefunden, daß das durchschnittlich 20 m mächtige Flöz durch die darüberfließende Lava in hohem Grade durch Kontaktmetamorphose verändert wurde. Der die Kohle vom Basalt trennende Ton ist zu einer harten Masse von jaspisartiger Beschaffenheit gebrannt, und die Braunkohle selbst ist in ihrer obersten Schicht zu Anthracit von großer Härte umgewandelt worden. Unter dieser besteht das Kohlenflöz aus einer in zolldicken, senkrechten Säulchen abgesonderten Glanzkohle, darunter folgt Glanzkohle mit muscheligem Bruch, und die übrige 6 m mächtige Hauptmasse des Flözes besteht aus dichter, dunkler Braunkohle, sogenannter Schwarzkohle, die als Heizkohle sehr geschätzt wird und an Brennwert die untersten nicht umgewandelten Lagen des Flözes erheblich übertrifft. Beim Abbau dieses Flözes hat man dann auch gerade unter der Mitte des Plateaus die trichterförmige Mündung des Ausflußkanals der Basalteruption beim Eintreiben des Stollens durchfahren.

Kompakte Holzmassen wie dicke Baumstämme können statt zu verkohlen im Bereiche von stark kieselhaltigen heißen Quellen auch versteinern, indem sie nach dem Absterben infolge von Durchtränkung mit dem warmen kieselsäurehaltigen Wasser ihre Zellwände nach und nach vollständig verkieseln lassen.

Wie die Kohlen eine genetisch zusammenhängende Reihe von brennbaren Fossilstoffen pflanzlicher Herkunft sind, so bilden das flüssige Erdöl oder Petroleum, der halbstarre Asphalt oder das Bitumen

und das seltene Erdwachs oder Ozokerit eine zusammenhängende Gruppe von ähnlichen, nur durch eine trockene Destillation von in großen Mengen zugrunde gegangenen Meerestieren, hauptsächlich Fischen, erzeugten Stoffen, welche, im Gegensatz zu den Kohlen, die stets auch Sauerstoff enthalten, nur aus Kohlenstoff und Wasser bestehen. Früher schon ist man auf diese Erklärung gekommen, indem man das Bitumen sehr fossilreicher Schiefer, die durch ihren überaus großen Gehalt an organischen Stoffen ganz braunschwarz erscheinen, wie wir sie besonders

Fig. 89. Eine Erdölquelle bei Minjak Itam auf Südsumatra. (Nach Photogramm von Dr. A. Tobler.)

im Lias — daher der Name schwarzer Jura — beispielsweise in Schwaben und im Banat beobachten, ganz natürlich mit den darin enthaltenen Tierresten in ursächlichen Zusammenhang brachte.

An einzelnen Stellen der Erdrinde können wir noch heute die Bildung von Erdöl aus Meerestieren beobachten, wie dies die Beobachtungen von O. Fraas an der Küste des Roten Meeres gezeigt haben. Im Korallenriffe der Dschebel Zeit bei El Tor befinden sich kleine Petroleumgruben in Form von Löchern, die in das Riff, wenige Schritte vom Ufer entfernt, gegraben wurden, so daß darin das Seewasser im Niveau des Meeresspiegels steht. Auf dem Wasser, aus dem sich widerliche Gase entwickeln, sammelt sich eine grünlich-braune irisierende Flüssig-

Digitized by Google

keit, welche nichts anderes ist, als aus dem Korallenriffe hervorquellendes Petroleum. Daß die Zersetzung von Meerestieren Erdöl erzeugt, dafür spricht auch das häufige Zusammenvorkommen von Petroleum mit Salzwasser und Spuren von Schwefel, welch letzteres ein Nebenprodukt der Fäulnis von tierischem Eiweiß ist.

Diese ölig-bituminösen Stoffe können in allen Erdperioden erzeugt worden sein. In Nordkanada ist das dort auftretende Erdöl silurischen Alters, in den großen Ölgebieten der Vereinigten Staaten dagegen

Fig. 90. Das Ölfeld Kampong Minjak in Südsumatra mit verschiedenen Bohrtürmen. In der künstlich erzeugten Lichtung beginnt neuer Wald zu sprossen. Nach Photogramm von Dr. A. Tobler.

rührt es aus der Devon- und Kohlenformation her. Es wird dort aus schwärzlichen bituminösen Schiefern, Schiefertonen, Sandsteinen und zelligen Kalksteinen mit teilweise zahlreichen Korallenresten und Feuersteinen gewonnen. Die Ölgebiete Kaukasiens dagegen, wie diejenigen von Sumatra und Borneo sind verhältnismäßig ganz jungen, meist oligocänen Alters.

Die Anwesenheit von Rohöl in der Erdrinde verrät sich entweder durch an der Oberfläche von Wasseransammlungen auftretende kleine Ansammlungen von brennbarem Erdöl oder durch das fortwährende Ausströmen von meist aromatisch riechenden Kohlenwasserstoffgasen,

Digitized by Google

welche, angezündet, ebenfalls brennen und die sogenanten von den Persern als heilig verehrten ewigen Feuer erzeugen. Aber nur solche Gesteine sind von Erdöl durchtränkt, deren Zusammenhang nicht ganz lückenlos ist, in welchen vielmehr kleinere und größere Hohlräume mit Öl und Ölgasen angefüllt sind, deren Gasspannung oft eine sehr große ist, so daß den Schlammvulkanen oder Salsen ähnliche Schlammsprudel entstehen. In ihnen werfen dann von Zeit zu Zeit die unter mächtigem Druck ausströmenden Kohlenwasserstoffgase mit Erdöl und salzigem Wasser vermischte Schlammassen, vielfach mit Gesteinsfragmenten aus. Bisweilen, namentlich in Verbindung mit entzündenden Gasausbrüchen, werden solche Mengen sandigen Schlammes und losen Gesteines ausgeworfen, daß durch derartige Aufschüttungen im Kaspischen Meere neue Inseln gebildet wurden. So entstand beispielsweise zuletzt im Frühjahr 1860 bei Baku in der Nähe der Halbinsel Apscheron die Insel Kumani. Der Petroleum-Schlammberg Arsena bei Baku hat nach Abich etwa 2/3 der Größe des Vesuvkraters, und seiner 150 m breiten Mündung entströmen nebst Foraminiferen- und Radiolarienskelette enthaltendem tertiärem tonigem Sandschlamme reichliche Mengen von in Wasser gelöstem schwefelsaurem Natron, dessen Kristalle sich auf dem Boden ringsherum in dicken Krusten ausscheiden. Ströme dieses durchaus nicht vulkanischen Schlammes nehmen, den Größenverhältnissen dieses interessanten Schlammberges entsprechend, wie in einem breiten Kanale auf der sanft gewölbten Scheitelfläche des mehrere Kilometer langen Hochrückens nach Nordwesten ihren Weg. So können als Folgen mächtiger organischer Zersetzungen in losem sandig-tonigem Gestein sehr jungen Alters geologische Erscheinungen auftreten, die durchaus an vulkanische erinnern, mit denen sie aber nicht das Geringste zu tun haben. Bei beiden Prozessen geht aber eine Entgasung vor sich und diese führt hier wie dort zu ähnlichen Erscheinungen.

IX.

Die Gebirgsbildung.

Den Gegensatz zu den durch Aufschüttung loser Aschen- und Schlackenmassen entstandenen Vulkanbergen bilden die durch sogenannte gebirgsbildende Kräfte zustande gekommenen Faltengebirge, die kein aus dem Erdinnern stammendes, durch die Entgasungsprozesse der Erdrinde nach oben gebrachtes vulkanisches Material enthalten, sondern aus mechanisch dislocierten Schichten der festen Erdkruste bestehen. Diese gebirgsbildenden Kräfte sind ganz einfach die durch zunehmende Erkaltung der einst glühendflüssigen Erdkugel bewirkte Zusammenziehung der starren Erdrinde, welche dem bei der Abkühlung schrumpfenden Kerne nicht, wie es ein elastischer Überzug tun würde, gleichmäßig nachgeben kann, sondern sich gleich der Schale des durch Austrocknung schrumpfenden Apfels in die mannigfaltigsten Falten legt, hier zusammengeschoben und emporgetürmt, dort aber nach abwärts gezogen und in die Tiefe versenkt wird.

Da die Gebirgsbildung die direkte Folge der Abkühlung der Erde ist, so hat sie nicht nur in vergangenen Zeiten stattgefunden, sondern geht heute noch beständig vor sich. Nur erfolgt sie nicht auf allen Gebieten der Erde gleichmäßig. Gewisse Gebiete verschont sie mehr oder weniger ganz, in andern dagegen, wo die Erdrinde infolge besonderer Beschaffenheit der Unterlage nachgiebiger ist, tritt sie in gehäufter Stärke auf.

Diese durch Schrumpfung bewirkte Zusammenziehung geht so unmerkbar langsam vor sich, daß die genauesten Messungen in der Schweiz während der letzten Jahrzehnte nicht den geringsten nachweisbaren Betrag einer Zusammenziehung ergeben haben. So hat L. **Brückner**,

damals noch in Bern, im Jahre 1893 auf Basis der vorliegenden vorzüglichen Triangulationsmessungen dieser Gebiete untersucht, ob die Entfernung zwischen Jura und Alpen eine merkliche Veränderung erfahren habe und kam dabei zu einem ganz negativen Resultate, d. h. die Differenzen, welche sich aus dem Vergleich der beiden Triangulationen ergaben, lagen noch innerhalb der wahrscheinlichen instrumentalen Fehlergrenzen.

Es ist also unmöglich, das Ausmaß und die Richtungen der durch die Schrumpfung bewirkten Dislokationen der Erdrinde durch direkte Messungen festzustellen, da die uns zum Vergleiche zur Verfügung stehenden Zeitabschnitte viel zu kurze sind, als daß sich während derselben irgendwelche noch so geringe Unterschiede zeigen würden. Gebirge werden nicht, wie man bis vor kurzem nicht nur in Laienkreisen, sondern auch unter den Vertretern der Wissenschaft geglaubt hat, rasch mit großer Gewalt emporgetürmt, sondern sie erheben sich ganz unmerklich langsam. Wie der harte Fels nur in äußerst langen Zeiträumen durch den fallenden Tropfen und das rinnende Wasser ausgehöhlt und zu tiefen Schluchten durchsägt wird, so wachsen durch Schrumpfung entstandene lokale Bewegungen der Erdrinde erst in vielen Hunderttausenden, ja Millionen von Jahren zu eigentlichen Bergen an, an welchen die beständig vor sich gehende Verwitterung mit Unterstützung des strömenden Wassers in einemfort der Auftürmung entgegenwirkend abträgt und, durch die Mulden abfließend, diese stets vertieft, aber auch in die Sättel hinein und oft durch diese hindurch tiefe Täler eingräbt. Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, ist es ganz begreiflich und natürlich, daß sich im Laufe von wenigen Jahrzehnten keine für unsere, mögen sie auch noch so fein gearbeitet sein, doch nicht ganz fehlerfreien Meßinstrumente nachweisbaren Unterschiede zwischen zwei festen, sich vermutlich einander nähernden Punkten feststellen lassen.

Daß aber trotz unserem Unvermögen sie nachzuweisen, doch die gebirgsbildende Kraft der Schrumpfung beständig, wie in früheren Zeiten so auch heute noch vor sich geht, das beweisen vor allem die Erdbeben, die je und je, ohne daß irgendwelche vulkanische Kräfte in Frage kämen, an den verschiedensten Orten der Erde die leichtlebigen Menschen immer wieder daran erinnern. Es geschah dies vor kurzem in so fürchterlicher Weise beim kalifornischen Erdbeben im April 1906, dem vor allem die blühende, reiche Stadt San Franzisco im Bunde mit den sich daran anschließenden Feuersbrünsten zum Opfer fiel. Unzähligemale haben sich im Laufe der uns durch die traditionelle Überlieferung

und später durch die schriftliche Fixierung bekannten Menschheitsgeschichte solche großes Unglück nach sich ziehende Katastrophen vollzogen, wir erinnern beispielsweise nur an das große Erdbeben vom 18. Oktober 1356, dem unsere damals im Aufblühen begriffene und von der Herrschaft des Bischofs sich befreiende Vaterstadt Basel samt fast allen Burgen der in nächster Umgebung im Jura wohnenden Adelsgeschlechter zum Opfer fiel. In diesem nach unseren heutigen Begriffen winzigen Städtchen wurden über 300 Menschen durch die einstürzenden Mauern der Häuser getötet und alle inneren, noch vorzugsweise aus Holz gebauten Stadtteile verbrannten durch die sich daran anschließende Feuersbrunst. Viel tragischer, weil eine viel größere Stadt betreffend, war diesem gegenüber das bekannte Erdbeben von Lissabon, das am 1. November 1755 diese reiche Handelsstadt zerstörte und dabei etwa 30000 Menschen unter den Trümmern der einstürzenden Gebäude begrub. Desgleichen wurde auch Lima, die Hauptstadt von Peru, welche schon im Jahre 1682 schwer durch Erdbeben heimgesucht worden war, am 28. Oktober 1746 durch ein erneutes Beben fast gänzlich zerstört, wobei von den damals in ihr lebenden 53000 Einwohner nur wenige gerettet wurden.

Im Gegensatz zu den vulkanischen Explosionsbeben bezeichnet man die durch Veränderungen in der Massenlagerung der Erdkruste hervorgebrachten Struktur- und Dislokationsbeben als **tektonische Erdbeben**. Begreiflicherweise kommen sie hauptsächlich in sich auffaltenden Kettengebirgen und deren Umgebung zur Beobachtung. Bald bewegen sie sich als sogenannte **Einsturzbeben** an sich dislozierenden, d. h. aneinander abstürzenden Bruchspalten, welche quer das Gebirge schneiden, bald zeigen sie sich da am heftigsten, wo Stücke aus Gebirgen herausgebrochen sind und sich kesselartige Ausbuchtungen infolge von Einbrüchen der Erdrinde finden, bald in jenen großen in Senkung befindlichen Gebieten, die sich, wie z. B. die Poebene in Italien, an den Steilabfall der Ketten, in diesem Falle der Alpenkette, anzulegen pflegen. Diese überaus enge Verknüpfung der tektonischen Beben mit den Störungslinien, längs welcher die Verschiebungen und Bewegungen der Gebirge und der Erdrinde überhaupt vor sich gehen, beweist an sich schon, daß sie nur eine Folge der in mehr oder weniger beschränkten Gebieten beständig vor sich gehenden Gebirgsbildung ist.

Eifrig hat man sich namentlich bei weitverbreiteten Erdbeben bemüht, den Ausgangspunkt derselben, ihren sogenannten Ursprungsherd, möglichst genau festzustellen. Die dabei angewandten Methoden sind

zwar bisher noch recht ungenau und sehr der Verbesserung bedürftig, doch ist es trotzdem gelungen zu erfahren, aus welchen Tiefen und mit welcher Geschwindigkeit etwa solche Beben ausgelöst werden und weiterschreiten. So hat man aus den Beobachtungen für einige Erdbeben folgende Tiefen berechnet, aus denen sie ungefähr stammen können: Rheinisches Erdbeben von 1846 etwa 39 km Tiefe, mitteldeutsches Erdbeben von 1872 etwa 18 km Tiefe, westdeutsches Erdbeben von 1878 9 km Tiefe, Erdbeben von Charleston in den Vereinigten Staaten 16 km Tiefe.

In Kalabrien, dem bekannten Erdbebenzentrum, in welchem beispielsweise vom 5. Februar 1783 an, da die benachbarte Stadt Messina zerstört wurde, in den folgenden Wochen und Monaten nach und nach gegen 100000 Menschenleben durch Erdbeben zugrunde gingen, scheint das kleinere Beben von 1857 ebenfalls aus einer nur sehr geringen Tiefe von 9,3 km hergerührt zu haben. Dabei ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwelle, wie die eingehenden Versuche von Michel Levy und Fouqué dargetan haben, durchaus nicht überall gleich, sondern ändert sich sehr stark je nach dem Gesteinsmaterial, seiner Porosität und seinem Wassergehalte. Im Granit beträgt sie 2450 bis 3141 m in der Sekunde, im kompakten Sandstein dagegen 2000 bis 2526 m in d. Sek., in lockerem Sandsteine 1190 m in d. Sek., im Marmor 632 m in d. Sek. und in lockerem Sand nur 300 m in der Sekunde.

Selten kommen die Erdbebenstöße allein; meist tun sie sich in Gruppen als sogenannte Erdbebenschwärme kund. So z. B. zählte man auf Hawaii während einer mehrere Monate währenden Erdbebenzeit im März 1868 mehr als 2000 bedeutendere Erdschwingungen. Bei dem längeren Erdbeben, das die griechische Landschaft Phokis in den Jahren 1870 bis 1873 heimsuchte und von dem deutschen Astronomen und Meteorologen Julius Schmidt genauer beobachtet wurde, kamen bisweilen kleinere Stöße alle drei Sekunden vor, während die bedeutenderen, mit beträchtlichen Zerstörungen verbundenen Erschütterungen in dieser Zeit etwa 320 betrugen, von denen aber nur 35 allgemeinere Aufmerksamkeit auf sich zogen, so daß sie in den Zeitungen erwähnt wurden. Im Ganzen fanden in der $3^1/_2$ Jahre dauernden Erdbebenzeit in Phokis ungefähr $^1/_2$ Million Erderschütterungen und $^1/_4$ Million unterirdische Detonationen statt. Ganz ähnliche Verhältnisse bot das letzte südamerikanische Erdbeben, bei welchem die Erderschütterungen monatelang anhielten und zeitweise recht heftig auftraten. Aber da die dortigen Bewohner daran gewöhnt sind, regten sie sich trotzdem nicht sonderlich darüber auf.

Kein Land ist ganz frei von Erdbeben, die um so häufiger durch unsere Erdbebenmesser, die sogenannten Seismometer, angezeigt werden, je sorgfältiger diese hergestellt sind. Sogar in solchen Ländern kommen sie vor, wie im sogenannten baltisch-russischen Schild, dem großen Gebiete, das Skandinavien, Finnland und das europäische Rußland bis zu den Vorbergen des Ural im Osten und bis zur Krim und zum Kaukasus im Süden umfaßt und dadurch ausgezeichnet ist, daß in ihm,

Fig. 91. Wirkungen des achäischen Erdbebens vom 26. Dezember 1861 in Form von allerlei Spalten und durch Ausbruch des Grundwassers entstandenen, mit Sand und Steinen untermischten Schlammkratern. Hinten sieht man die Gipfel versunkener Bäume aus dem Wasser hervorragen (nach Julius Schmidt).

als dem einzigen in Europa, seit der Ablagerung der ältesten Versteinerungen führenden Sedimentschichten, des Cambriums, keinerlei Erdbewegungen eingetreten sind, wo vielmehr die uralten, paläozoischen Tone ungefaltet horizontal an der Oberfläche liegen und noch so frisch erscheinen, wie anderwärts solche ebenfalls ungepreßte und dadurch unveränderte aus den allerjüngsten Erdperioden, wie z. B. aus dem späten Tertiär, aussehen. Mögen auch viele der leichten, hier in diesem seit

Hunderten von Millionen Jahren niemals zu Bergen gefalteten und von erheblichen Erdbewegungen heimgesuchten Gebiete vorkommenden Erderschütterungen nur von anderwärts hergeleitete sein, so ist auch dort die Erdoberfläche nicht absolut ruhig, sondern zeitweise in leichter Bewegung befindlich.

Wir alle, die wir in gebirgigen Gegenden wohnen, wandeln also durchaus nicht auf einem felsenfesten Boden, wie man allgemein glaubt. Der Boden schwankt, wenn auch in der Regel ganz unmerklich, unter unseren Füßen und keiner ist dessen ganz sicher, daß er nicht heute oder morgen von dem Gebäude, in welchem er wohnt, erschlagen sein wird. Den unruhigsten Boden in Europa hat, nicht nur politisch, die Balkanhalbinsel; ihr folgen dann Italien, die iberische Halbinsel und die Karstländer, welch letztere einen vom unterirdisch abfließenden Wasser vollkommen ausgewaschenen und durchklüfteten Boden besitzen, dessen Hohlräume dann, dem Drucke der auf ihnen lastenden Gesteinsdecke nachgebend, gelegentlich einstürzen und dadurch zahlreiche lokale Erdbeben, sogenannte Einsturzbeben, verursachen. Auch in der Umgebung der Alpen, in der Schweiz besonders, sind die Erdbeben ziemlich häufig. In Deutschland werden speziell die Rheingegenden und der als Vogtland bezeichnete südwestlichste Teil von Sachsen am meisten davon betroffen. Unter allen Ländern der Erde scheint aber Japan das erdbebenreichste zu sein. Dort ist die Erde fast ununterbrochen in Bewegung und die Bauart der Häuser hat sich ganz danach gestaltet. Damit steht wohl sicher im Zusammenhang, daß östlich davon eines der tiefsten Senkungsfelder der Erde sich befindet, wo an einer Stelle das Lot den Boden erst in 8513 m Tiefe traf. Aus dieser ungeheuren Meerestiefe würde nur der höchste Berggipfel der Welt, der durch den englischen Ingenieur Everest im Jahre 1855 gemessene und deshalb von seinen Landsleuten nach ihm Moont Everest genannte Gaurisankar mit seinen 8840 m, eine Kleinigkeit über das Wasser hinausschauen.

Auch einige Länder in Zentralamerika und an der Westküste von Südamerika, wo die Anden sich noch am energischsten weiter emportürmen, sind fast so stark wie Japan, das Erdbebenland par excellence, von Dislokationsbeben heimgesucht, die also nicht vulkanische, sondern rein tektonische Beben sind, so bezeichnet, weil sie mit der Tektonik, dem Aufbau der Erdrinde, in engstem Zusammenhange stehen.

Das hat wiederum das allerjüngste Erdbeben bewiesen, das am 16. August 1906 außer den Städten Santiago, Los Andes, Nogales und andern, hauptsächlich die 200000 Einwohner zählende zweite Haupt-

stadt Chiles, Valparaiso, betraf. ‚Tal des Paradieses‘ wurde dieser Ort wegen seiner wundervollen Vegetation und Lage von seinem Gründer Pedro de Valdivia im Jahre 1540 genannt. Und sie blühte auch in letzter Zeit immer mehr durch ihren Handel auf. Da ereignete sich in der achten Abendstunde jenes denkwürdigen Tages ein plötzlicher starker Erdstoß von vier Minuten Dauer, ein zweiter — ein Schwingen des Bodens — ein furchtbarer Ruck — und ganze Straßenzeilen stürzten in sich zusammen. Die verschüttete Glut der Feuerstellen fraß sich durch die Trümmerhaufen und lohte allerorten zum Himmel. Tausende von Toten lagen unter den Trümmern begraben und die Überlebenden ergriff eine an Wahnsinn grenzende Panik. Alle Kabelverbindungen mit den übrigen südamerikanischen Städten waren zerrissen und eine 2 m hohe Flutwelle brandete gegen die viele tausend Kilometer entfernten ozeanischen Inseln. Unaufhörliche kleinere Stöße — es wurden ihrer in den der Katastrophe folgenden Wochen über 400 bedeutendere gezählt — ließen bei den unglücklichen Flüchtlingen nicht einmal die Ruhe einstweiligen Aufatmens aufkommen. Dieses südamerikanische Gebiet der Anden ist wirklich ein unheimlicher Boden, der nie zur Ruhe kommen will. Schon am 20. Februar 1835 wurde ein großer Teil Valparaisos durch ein starkes Erdbeben vernichtet; seither war aber die Stadt schöner und großartiger wieder aufgebaut worden.

Als höchst bemerkenswerte Begleiterscheinung dieses letzten größeren südamerikanischen Erdbebens wurde gleichzeitig mit der Zerstörung von Valparaiso die auf derselben Höhe 565 km vom Festland entfernte, 95 qkm große poesieumwobene Robinsoninsel im Stillen Ozean in die Fluten des Meeres hinabgezogen. Diese Insel gehörte zu den drei von Juan Fernandez im Jahre 1563 für Spanien entdeckten und nach ihm benannten Inseln. Sie hatte die Form eines gleichschenkligen Dreiecks, dessen Basis, die Südseite, 24 km lang war und dessen übrige Seiten je 9 ¹/₄ km maßen. Sie war vulkanischen Ursprungs, stieg an der Küste außerordentlich steil empor und erreichte eine Höhe von 930 m. Berühmt wurde sie durch das im Jahre 1719 erschienene Defoesche Werk des Robinson Crusoe, worin die phantastisch ausgeschmückten Erlebnisse des aus reinem Abenteurertrieb freiwillig vier Jahre und vier Monate auf der Insel verbliebenen und 1709 von einem englischen Fahrzeug aus seiner Einsiedlerschaft befreiten englischen Steuermanns Alexander Selkirk beschrieben wurden, die heute noch die Herzen der sie lesenden Jugend höher schlagen lassen. Nach den Zeitungsnachrichten ist von dem landschaftlich wunderschönen Eiland, das sehr spärlich bewohnt war, nichts übrig geblieben. Über die Stätte,

wo noch vor kurzem die Natur all ihre Reize entfaltete, wo steile Berge von tiefen Tälern durchzogen in der üppigsten Pracht immergrüner Wälder prangten, wo baumhohe Farne den Wanderer beschatteten, wo kristallklare Quellen ihn erquickten, läßt heute das unendliche Meer rastlos seine Wogen rollen. Die gigantischen unterirdischen Kräfte, welche dieses, von verschiedenen es besuchenden Reisenden geradezu als

Fig. 92. Erdbebenspalte in Midori, Japan, vom Erdbeben am 20. Okt. 1891. Der vordere Teil ist an einer Verwerfungsspalte um den Betrag von 6 m abgesunken, während der hintere unverändert stehen blieb.

Perle der Schöpfung bezeichnete reizvolle Gebilde schufen, haben ihr Werk mit täppischer Faust wiederum zerstört.

In den eigentlichen Erdbebenländern dienen infolge des häufigen Auftretens der schwächeren Erdstöße im Vergleich zu den gefährlichen stärkeren, jene oft als eine Art Warnungszeichen, denen man, wenn einem das Leben lieb ist, Folge leistet. Bisweilen werden die verheerenden Stöße von einem vorangehenden dumpfen Geräusche verkündigt, wie z. B. beim Erdbeben von Charleston, der Hafenstadt von Südkarolina, am 31. August 1886, wo nach einem 12 Sekunden anhaltenden

Getöse zwei heftige Stöße mit einem ruhigeren Intervalle im Laufe von 50 Sekunden den Boden erschütterten, wonach bis zum folgenden Jahre eine ganze Anzahl schwächerer Stöße aufeinander folgten.

Ungefähr ebenso oft kommt jedoch der verheerende Stoß unvorbereitet. Dies war beispielsweise beim Erdbeben von Lissabon im Jahre 1755 der Fall, wo ein sogenanntes, seltener zur Beobachtung gelangendes Einzelbeben erfolgte, bei welchem nur ein oder einige wenige Stöße in Zeit von einigen Sekunden oder Minuten wahrgenommen wurden und darauf wieder vollkommene Ruhe folgte.

Sehr oft haben Erdbeben als sichtbaren Ausdruck von Dislokationen, d. h. Verschiebungen in der Erdkruste, die sie hervorrufen, Spaltenbildungen in den oberflächlichen Bodenschichten zur Folge. So wurde beispielsweise bei einem Erdbeben in Japan vom 20. Oktober 1891 eine 65 km lange von Südost nach Nordwest verlaufende Erdspalte gebildet, wobei vertikale Verschiebungen bis zu 6 m und horizontale bis zu 4 m vorkamen, indem das nach Nordosten zu gelegene Land in nordwestlicher Richtung verschoben wurde und sich zugleich an den meisten Stellen senkte. Von diesem Vorgange gibt die vorangehende Abbildung eine deutliche Vorstellung.

Infolge solcher Spaltenbildungen folgen den Erdstößen bisweilen heftige Bergstürze, wie beispielsweise in der Gegend des altgriechischen apollinischen Heiligtumes im wilden Bergkessel von Delphi beim phokischen Erdbeben zu Beginn der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts. Eine solche Ursache hatte auch der Bergsturz von Dobratsch in Kärnten am 25. Januar 1348, wobei zwei Marktflecken und 17 Dörfer unter den herabstürzenden Felsmassen begraben wurden. Bilden sich solche Spalten in ebenem Gelände, so entströmt ihnen das mit Schlamm, Sand und Steinen untermischte Grundwasser und bildet sogar unter Umständen kraterförmige Anhäufungen, die ganz an vulkanische Gebilde erinnern. (S. Fig. 91.)

Bei Dislokationsbeben im Meere werden besonders gewaltige Erdbebenfluten erzeugt, die sich mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 185 m in der Sekunde fortpflanzen und noch schwerere Verheerungen als die Erdbeben selbst anrichten. So brach beim Lissaboner Erdbeben eine 5 m hohe Welle über die Stadt herein und tötete mit einem Schlage 60000 Menschen. Im Jahre 1510 riß eine solche Erdbebenwelle in Konstantinopel 109 Moscheen und 1070 Wohnhäuser mit sich. Auch beim Erdbeben von Lima vom 28. Oktober 1724 wurde die benachbarte Hafenstadt Callao von einer gegen 30 m hohen Woge über-

Durch Erosion herausgewitterter Quarzitfelsen in Wisconsin (N.-A.), der einst tief in der Erde stak und an welchem eine höchst interessante Verwerfung zu sehen ist. Die rechte Hälfte ist der stehengebliebene Teil, während die linke an einer Verwerfungsspalte an ihm hinabrutschte, was sich sehr deutlich an einer teilweisen Schleppung der Bruchränder namentlich an den mittleren und unteren Partien zu erkennen gibt. Diese am stärksten der mechanischen Gewalteinwirkung ausgesetzten Teile sind auch am hochgradigsten zersplittert und gebrochen, sodaß das sie zusammensetzende überaus harte Erstarrungsgestein auf den ersten Blick wie ein Schichtgestein geschiefert erscheint.

Digitized by Google

flutet, welche alle Gebäude niederriß und fast die ganze Einwohnerschaft vernichtete. Von 23 im Hafen liegenden Schiffen wurden 19 unmittelbar versenkt, während die vier übrigen eine Stunde weit landeinwärts gespült wurden. In Japan sind solche Flutwellen überaus häufig. Am 15. Juni 1896 zerstörte eine solche von 10 m Höhe bei Kamaïschi 7600 Wohnhäuser und tötete 27000 Menschen. Fischer, die 30 bis 40 km von der Küste entfernt in Boten ihrem Berufe oblagen, spürten merkwürdigerweise nichts von dieser Flut, die sonst über weite Meeresstrecken sich fortzupflanzen und noch an sehr entfernten Gestaden große Verheerungen anzurichten pflegt. Besonders ist das Leben der Einwohner der niederen, nur wenige Fuß über dem Meeresspiegel sich erhebenden Koralleninseln von solchen Fluten bedroht, die oft alles Lebende auf solchen Eilanden in einem Augenblicke wegschwemmen und ertränken.

Auf solche Katastrophen, die gelegentlich auch höher gelegene Gebiete des Festlandes mit ihren gierigen Wogen bedrohen, sind jedenfalls die verschiedenen Sagen von einer *Sintflut*, d. h. allgemeinen Flut, zurückzuführen, welche wir in den Überlieferungen zahlreicher Volksstämme antreffen. Die bekannteste derselben, die als Episode schon im altbabylonischen Izdubarliede erwähnt wird und in der Folge auch unter die Sagen der Juden Aufnahme fand, hat ihren Schauplatz in den weiten Niederungen des mesopotamischen Tieflandes. Sie bezieht sich entweder auf eine in frühprähistorischer Zeit dort eingedrungene gewaltige Erdbebenwelle oder auf einen in seiner Wirkung noch weit verderblicheren Wirbelsturm, wie sie gelegentlich in tropischen und subtropischen Regionen wüten, wobei sie ungeheure Wassermassen gegen flache Küsten treiben und dadurch das Wasser in den Mündungen großer Flüsse stauen. Solche furchtbare Ereignisse treten nicht selten ein, wenn beispielsweise sich ein Zyklon oder Wirbelsturm durch den Golf von Bengalen nach Norden gegen das Delta des Ganges und Brahmaputra bewegt. Bei einer solchen *Sturmflut*, die sich in der Nacht vom 11. auf den 12. Oktober 1737 ereignete und mit einem gewaltigen Erdbeben in Verbindung stand, erhob sich das Wasser des Ganges durch Stauung 14 m über seinen normalen Stand und ertränkte mit einem Male gegen 300000 Menschen. Die letzte solche Katastrophe ereignete sich in diesem Gebiete in der Nacht vom 31. Oktober zum 1. November 1876, indem ein äußerst heftiger Wirbelsturm in Verbindung mit einer außergewöhnlich hohen Springflut durch Stauung der Wässer des Ganges und des Brahmaputra ein Gebiet von

1046 qkm 14 m hoch überflutete, wobei von einer Bevölkerung von etwa 1 Million Menschen nach einem Berichte 215000, nach einem andern 100000 ertranken. Die andern entkamen dem sicheren Tode nur dadurch, daß sie sich auf die hohen, tief in der Erde wurzelnden Bäume, die dort in großer Zahl die Hütten der Eingeborenen umgeben, flüchteten und sich auf ihnen festzuhalten vermochten.

Auf reiche geologische Erfahrungen sich stützend erklärt Eduard Sueß in Wien den auf gebrannten Tonziegeln in den Ruinen von Ninive gefundenen Bericht von Hasis-Adra, dem babylonischen Noah, in folgender Weise: In einer Zeit andauernder Erderschütterungen schlug zu wiederholten Malen eine Flutwelle aus dem Persischen Meerbusen in das niedere Flachland der Euphratmündung. Durch diese Flutbeben gewarnt, baute ein vorsichtiger Mann, Hasis-Adra, d. h. der gottesfürchtige Weise, wie das Lied erzählt, auf das Anraten des ihm wohlgesinnten Meergottes Ea, der ihn vor einer noch größeren Flut warnte, ein Schiff zur Rettung der Seinigen, das er nach altbabylonischer Sitte außen und innen mit Erdpech oder Asphalt verdichtete. Darauf zog er sich mit den Seinigen und seiner aus verschiedenen Haustieren und etwas Korn bestehenden Habe zurück, als die überaus beängstigenden Bewegungen der Erde zunahmen. Nun erhoben sich — wir folgen darin dem altbabylonischen, uns im Izdubarliede erhaltenen Berichte wörtlich — Sturm und Ungewitter; Wasser brach aus der Erde hervor. Das ist das aus dem geborstenen Flachlande austretende schlammige Grundwasser. Der Wettergott brachte, gemäß dem Beschlusse der großen Götter die uralte Stadt Surripak in der Nähe der damaligen, noch weiter landeinwärts gelegenen Euphratmündung, durch eine Flut zu vernichten, Fluten herbei; das bedeutet eine mit dem großen Erdbeben in Verbindung stehende, durch Stauung des Euphratwassers noch vermehrte Sturmflut, welche das rettende Fahrzeug mit seinen Insassen weit landeinwärts spülte, wo es beim Abfluß der Wässer an den die mesopotamische Tiefebene umsäumenden Höhen von Nizir, einer etwas südöstlich von Ninive gelegenen Landschaft, strandete. Dann sandte Hasis-Adra, der babylonische Noah, Vögel aus, die ihn von der Abnahme der Flut unterrichten sollten. Schließlich schwur der große Gott, Bel, keine allgemeine Flut mehr eintreten zu lassen; zur Bekräftigung dessen hob seine Gattin, die Göttin Istar, den großen Bogen des Anu, d. i. den Regenbogen, in die Höhe usw., ganz nach dem Berichte der Bibel, der diese Sage aus der älteren babylonischen Quelle, für die sie allein einen

Sinn hat, geschöpft und mit starken Übertreibungen auf die ganz anderen Verhältnisse Palästinas übertragen hat.

Gleicherweise wie die Erdbeben sind auch die Seebeben meist solche Dislokationsbeben, hervorgerufen durch ein Abstürzen von Teilen der Erdrinde an Bruchspalten oft um einen ganz unmerklichen Betrag, aber trotzdem die fürchterlichsten Erschütterungen der Erdrinde und der darüberliegenden Meere hervorrufend. Seltener sind Einsturzbeben, die sich durch Einsturz von durch Auslaugung entstandenen Höhlen in Erd-

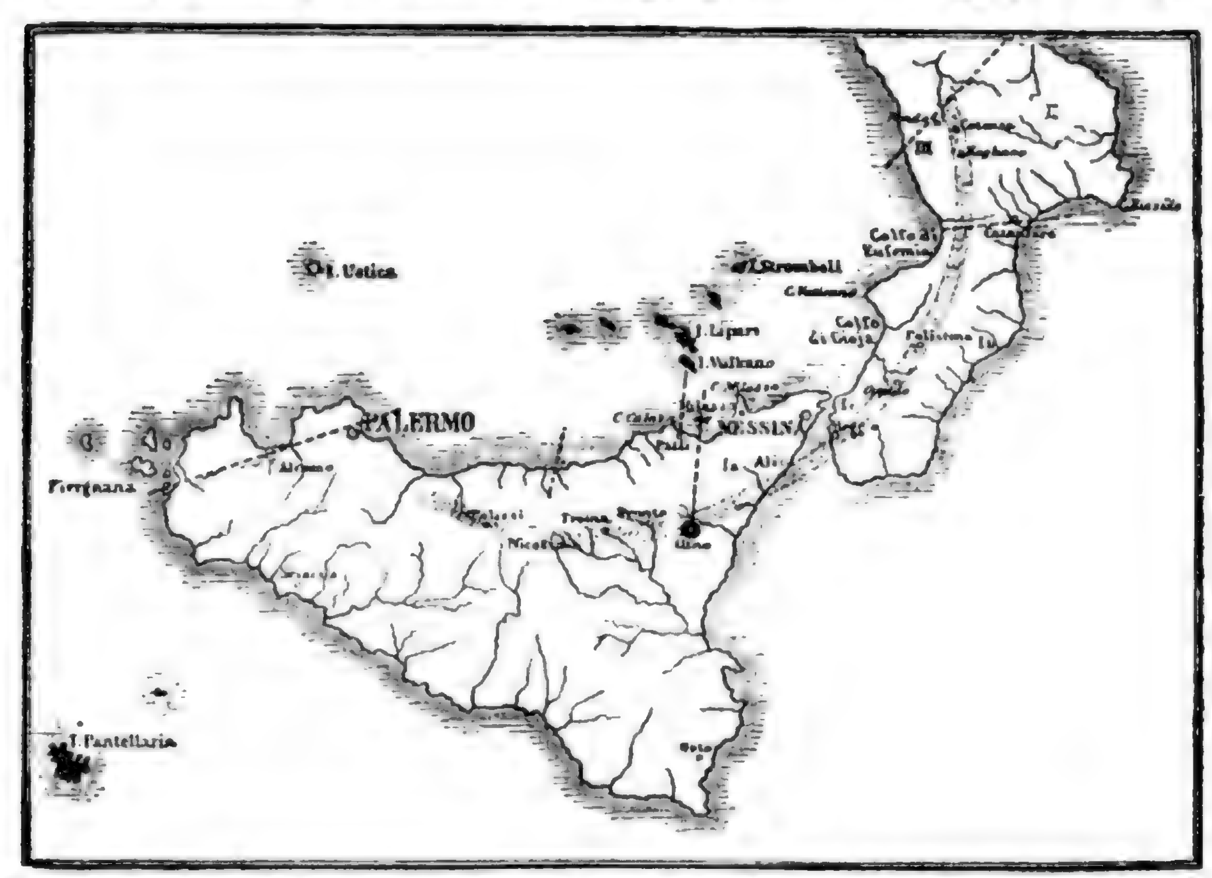


Fig. 93. Die Erdbebenlinien Siziliens und Süditaliens (nach Eduard Sueß).

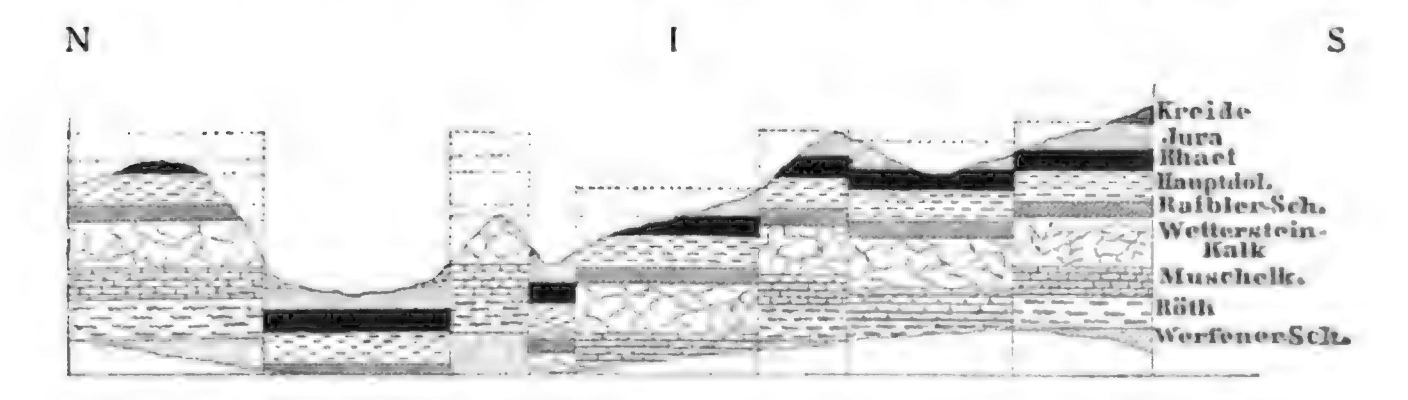
schichten wie Steinsalz, Gips, Anhydrit und Kalkstein ereignen. Ausnahmsweise können Beben auch durch kolossale Erdstürze am Meeresboden erfolgen, wie Milne es für einen Teil der japanischen Erdbeben annimmt, welche ihren Ausgang vom Weststrande der bereits erwähnten Tuscaroratiefe nehmen. Er erklärt dies in der Weise, daß die Sedimente von den Ufern ins Meer hinausgeschwemmt werden und sich ziemlich bald in der Nähe der Küste absetzen. Dadurch entstehen sehr steile Böschungen am Meeresboden, so daß zuletzt die untersten, durch den Wassergehalt plastischen Schichten den gewaltigen Druck der auf ihnen liegenden Sedimentbelastung nicht mehr auszuhalten vermögen und in die Tiefe hinabrutschen.

Wie an Bruchrändern von großen Senkungsfeldern als Folge der tektonischen Störungen Vulkane auftreten, erscheinen dort auch ohne vulkanische Ausbrüche Erd- beziehungsweise Seebeben. So treten die süditalienischen und sizilianischen Beben am häufigsten längs eines in der Fig. 93 punktierten Kreisbogens auf, welcher den Bruchrand eines großen, vom südlichen Teile des tyrrhenischen Meeres größtenteils eingenommenen Senkungsfeldes bildet. Radial zu dieser bogenförmigen Bruchlinie verlaufen andere gegen Lipari konvergierende, durch gestrichelte Linien bezeichnete Bruchlinien, auf denen die Vulkane Ätna, Volcano und Stromboli liegen. Längs dieser Radialbrüche treten auch sehr oft Dislokationsbeben ein. Das großartigste der in diesen Gegenden vor sich gegangenen Erdbeben war das kalabrische Beben vom Jahre 1783, welches nach den eingehenden Forschungen von Ed. Sueß ein typisches, vom Kreisbogen ausgehendes Senkungsbeben war, wie solche alle paar Jahre, wenn auch bedeutend schwächer, so doch verheerend genug gerade diese Landschaft immer wieder heimsuchen.

Eine weitere, durch zahlreiche Beben sich kundtuende kesselförmige Einbruchzone liegt westlich von der messenischen Küste und an der Außenseite der ionischen Inseln. Sie begrenzt die 4400 m erreichende „Polatiefe“ im ionischen Meer. Die direkte Folge dieser Senkungszone ist einesteils die Vulkaninsel Santorin und zahlreiche sehr bedeutende Erdbebenkatastrophen, wie das messenische von 1886, das ligurische von 1887 und dasjenige von Zante im Jahre 1893.

Die gebirgsbildenden Kräfte äußern sich in doppelter Weise. Einerseits in der Richtung auf den Erdmittelpunkt hin, und anderseits senkrecht dazu in der Richtung der Erdoberfläche. Im ersteren Falle wird eine senkrecht zur Erdoberfläche wirkende Zug- oder Druckkraft die feste Erdkruste in bestimmte Bruchlinien zerbrechen und vertikal verschieben, indem eine Scholle an einer andern benachbarten vorbei nach unten sinkt. Solche Brüche heißt man Verwerfungen. Schließt sich daran gleichzeitig ein Zusammenschub, so bezeichnet man eine derartige Verlagerung eine Überschiebung. Im letzteren Falle erzeugen horizontal zur Erdoberfläche wirkende gebirgsbildende Kräfte eine Faltung der Erdrinde, wodurch die höchsten Gebirge entstehen. Beide Arten von Gebirgen, sowohl die durch Bruch und Absinken, als die durch Faltung entstandenen, sind Erzeugnisse eines seitlichen Zusammenschubes als Ausdruck des Nachgebens der starren Kruste um den durch Abkühlung schrumpfenden Kern der Erde.

Der Auffaltung eines Gebirges gehen sehr oft Brüche und Verwerfungen voraus und begleiten sie dann auch. Aber auch ohne daß es zur Faltung kommt, dislozieren sich durch ungleichmäßigen Druck



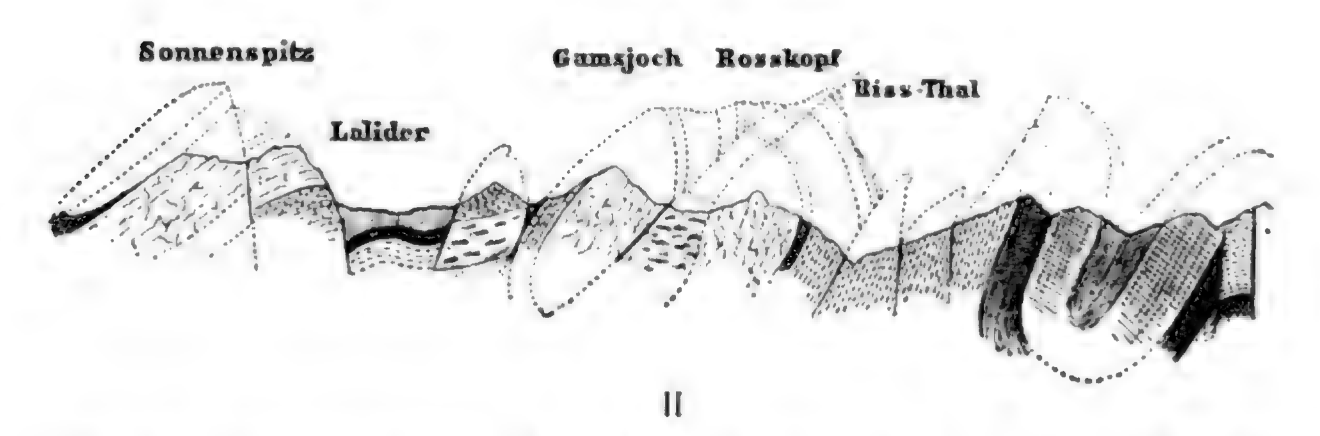


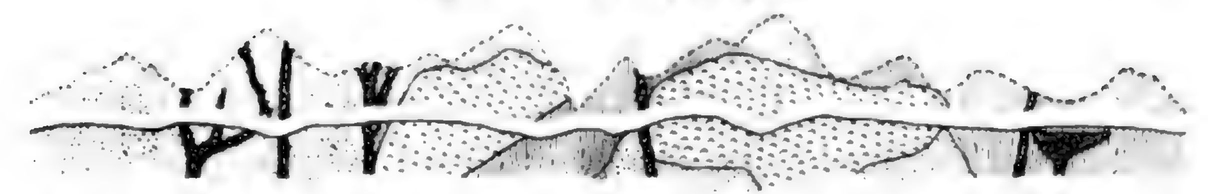
Fig. 94. Querprofile durch das Karwendelgebirge an der bayerisch-tirolischen Grenze, nördlich von Innsbruck: I Das Land vor der miocänen Faltung mit zahlreichen Verwerfungen, deren Bildung mit Sicherheit in die mittlere Kreidezeit verlegt werden kann, da die Brüche zwar das Neocom der unteren Kreide durchqueren, aber nicht in die obere Kreide von Gosau übergehen, beziehungsweise von dieser bedeckt werden. II In der Gegenwart, nachdem dasselbe stark gefaltet und das dabei entstandene Gebirge durch die Erosion zum größten Teile wieder abgetragen worden. — In dem zur mittleren Kreidezeit entstandenen Schollengebiet im Profil I sind die Schollen der Einfachheit halber alle in horizontaler Lagerung und mit vertikalen Bruchlinien dargestellt, was schematisch ist und durchaus nicht der Wirklichkeit entspricht. Dieses zur mittleren Kreidezeit von gebirgsbildenden Dislokationen heimgesuchte Gebiet ist dann im Miocän wiederum und zwar in unendlich viel stärkerem Maße der Gebirgsbildung, diesmal durch Faltung, unterworfen worden, so daß die überaus komplizierte Tektonik entstand, die wir jetzt dort beobachten. (Nach Prof. Rothpletz in München.)

oder verschiedene Belastung gebrochene Erdschollen an einander; es entstehen je nachdem Tafelbrüche, Staffelbrüche, Kesselbrüche und Grabenversenkungen. Die zwischen den Einbrüchen stehen ge-

bliebenen Teile, an welchen jene abgesunken sind, bezeichnet man nach Sueß mit einem Ausdrucke aus der Bergmannsprache als Horste. So ist beispielsweise das Rheintal zwischen Basel und Mainz eine an von Süden nach Norden verlaufenden Längsbrüchen in mehreren Schollen in die Tiefe gebrochene typische Grabenversenkung von in der Regel über 35 km Breite zwischen den beidseitig stehen gebliebenen Horsten Schwarzwald und Vogesen, worauf sich als sogenannte Ventileruption an einer der Spalten die bereits von uns erwähnten Vulkanausbrüche am Kaiserstuhl ereigneten. Bevor sich diese Grabenversenkung in verschiedenen Brüchen zu Beginn der Oligocänzeit langsam auszubilden begann, war die betreffende Stelle von denselben auf steilgefaltetem Gneis horizontal abgelagerten Schichtgesteinen von der jüngeren Karbonzeit bis und mit dem oberen Jura bedeckt, die von der lothringischen Hochebene im Westen bis zur oberschwäbischen Hochebene im Osten eine in der Mitte leicht gewölbte horizontale Decke bildeten. Als dann das spätere Rheintal einbrach wurde es zunächst von einem Arme des nordischen sogenannten tongrischen Meeres bedeckt, das sich im Süden bis weit über den damals noch ungefalteten Jura ausbreitete. Dieser seichte Meeresarm hat im ganzen Rheintal mächtige Schichten eines als blauen Letten bezeichneten Tones abgelagert, den man infolge seines Gehaltes an größeren sandigen, mit oft zahlreichen Blättern wärmeliebender Bäume, wie besonders von Zimmtbäumen, und den Abdrücken einer kleinen Häringsart versehenen Konkretionen, welche als Septarien bezeichnet werden, auch Septarienton nennt.

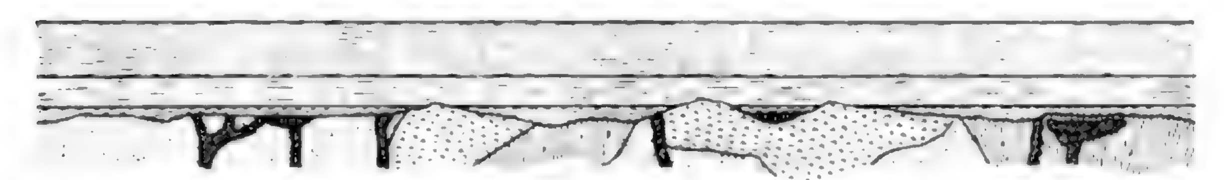
Am Schlusse dieser oligocänen Tongerstufe wurde allmählich von Süden nach Norden fortschreitend das Elsäßerbecken durch Brackwasserbildungen ausgefüllt. Schließlich zog sich das Meer ganz aus dem Rheintal zurück und das Sund- d. h. der Südgau wurde bis weit nach Norden hinauf mit den von der inneren Schweiz her durch die Flüsse verfrachteten Schottern erfüllt. Und erst ganz zuletzt, in der zweiten Zwischeneiszeit, die nur etwa 600000 Jahre zurückliegt, wurde der Fluß, von dem das Rheintal seinen Namen erhielt, der vorher westlich über die Saone und die Rhone ins Mittelmeer geflossen war, nach Norden abgelenkt und ergoß sich nach Durchsägung des aus harten Devonkalken aufgebauten Querriegels bei Bingen, dessen nun getrennte Teile jetzt Hunsrück und Taunus genannt werden, nach der Nordsee. Auf diese Weise wurden die stehen gebliebenen festen Sockel, die Horste des Schwarzwalds und der Vogesen, zu sogenannten passiven Gebirgen, die dann durch Verwitterung und

I. Zur Steinkohlenzeit.



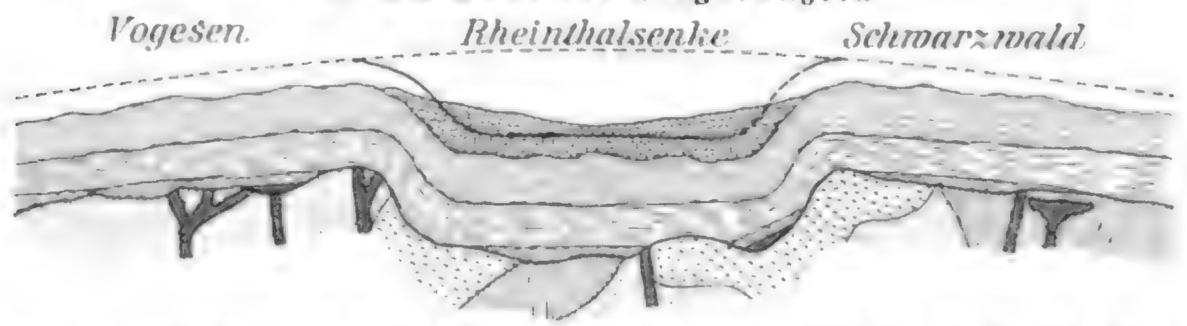
Zur mittleren Karbonzeit wurde das variscische Gebirge aufgetürmt und bis zur hellen Linie vollkommen abgetragen, wonach das Land teilweise ins Meer versenkt und oberkarbonische Sedimente auf ihm abgelagert wurden.

II. Am Ende der Jurazeit.



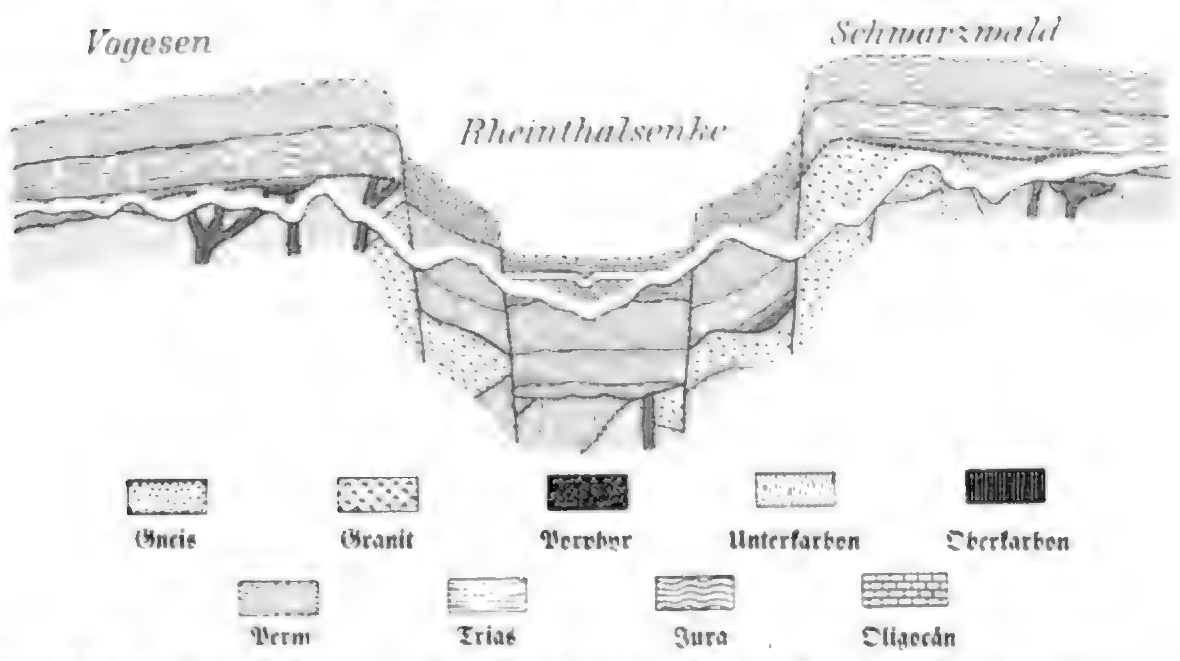
Über das Oberkarbon lagerte sich Perm, Trias und Jura ab, während der Kreide und des Eocäns war Festland, worauf langsamer Einbruch der Grabenversenkung und Ablagerung von gewaltigen Mengen von oligocänem blauen Letten oder Septarienton erfolgte.

III. Am Ende der Oligocänzeit.



Nach der Oligocänablagerung weitere Senkung des Grabens und des ganzen leicht aufgewölbten Landes.

IV. Am Ende der Miocänzeit.



Die Geschichte des Oberrheingebiets und die Bildung der Rheintalsenke schematisch. (Nach Prof. G. Steinmann.)

Alles, was in Querschnitt IV über der dicken hellen Linie steht, ist durch die Erosion seit dem Miocän abgetragen worden. Darüber wurden im Rheintal die Schotter der Eiszeit abgelagert, in die der Fluß sich zuletzt sein Bett grub.

Erosion in ihren höchsten Teilen die Sedimentdecke aus Trias- und Jurageſtein verloren und teils bis zum Karbon, teils auch bis auf den Gneis und Granit denudiert d. h. entblößt wurden, was insgeſamt eine Abtragung von über 1000 m ausmacht. Über die einzelnen Details der Bildung der Rheintalſenke orientiert die beigegebene, zum beſſeren Verſtändnis etwas ſchematiſch gehaltene Tafel in klarer Weiſe.

Solche Gebirge, die nur aus ſtehen gebliebenen Schollen entſtanden ſind, indem durch Brüche und Verwerfungen abgefallene Teile neben ihnen in die Tiefe ſanken, ſind im großen ganzen alle deutſchen und überhaupt europäiſchen Mittelgebirge. Nicht durch aktives in die Höhe gehoben werden, ſondern durch paſſives Stehenbleiben ſind ſie zu einer ihre Umgebung überragenden Lage gekommen. Zu ihnen gehören das Gebirgsland nördlich vom Quadalquivir mit Ausſchluß der Pyrenäen, das franzöſiſche Zentralplateau, die Normandie, die ſüdengliſchen und ſüdiriſchen Gebirge, die Ardennen, das rheiniſche Schiefergebirge, Vogeſen, Schwarzwald, Harz, Speſſart, das Thüringer- und das böhmiſche Gebirge mit ſeinen Umrahmungen, wie Böhmerwald, Erzgebirge und Sudeten. Alle dieſe deutſchen Mittelgebirge ſind ſtehen gebliebene Horſte, von zahlreichen Verwerfungen und Brüchen durchzogen, deren heutige Abgrenzung meiſtens durch tertiäre Bruchlinien beſtimmt wird.

In Mitteleuropa bis ſüdlich der Alpen beſteht ihr Untergrund aus einem durch Abtragung vollkommen eingeebneten hohen Gebirge. Es iſt dies das ſogenannte variscische Gebirge, das zur mittleren Karbonzeit von Südweſten nach Nordoſten in gewaltige Falten gelegt und dann wieder vollſtändig abgetragen wurde. Wir ſehen deſſen Entſtehung und Abtragung auf dem oberſten Profil der Tafel über die Bildung der Rheintalſenke.

Nach der Abtragung dieſes mächtigen Gebirges, die eine ganze Reihe von Millionen Jahren erforderte, verſank das Land wiederum ins Meer und auf dem ſteilgefalteten Grund lagerten ſich discordant zunächſt das Oberkarbon oder die produktive Steinkohle, darüber Perm-, Trias-, Jura- und teilweiſe auch noch Kreidegeſteine ab. Dann wurde das Land wieder aus dem Meere emporgehoben und teils ſchon in der Kreidezeit, teilweiſe erſt zur Tertiärzeit durch zahlreiche Brüche und Verwerfungen disloziert. Dieſe letzteren verlaufen meiſt ſenkrecht zur Schubrichtung des alten variscischen Gebirges von Südoſten nach Nordweſten. Durch die überaus zahlreichen, in dieſer Richtung erfolgten Brüche und Verwerfungen bildeten ſich allerlei Grabenverſenkungen mit dazwiſchen ſtehen gebliebenen Horſten.

Von den letzteren wurde in der Folge die mesozoische Gesteinsbedeckung mehr oder weniger ganz wegerodiert und teilweise auch noch die jüngeren, paläozischen Sedimente abgetragen. Da, wo aber große Landschollen in die Tiefe versanken, blieben wenigstens die unteren Lagen der mesozoischen Gesteine erhalten. So bilden heute gerade die älteren Ablagerungen der Trias, neben dem Muschelkalk der sehr mächtig entwickelte Buntsandstein in weiter Ausdehnung den Untergrund des heutigen Mitteleuropas. Da dessen Verwitterungsprodukte keine dem Landbau günstige Ackerkrume liefern, sind es meist wenig fruchtbare Gebiete, in denen die untere Trias zutage liegt. So sieht man sich gerade auf dem mageren Buntsandstein gezwungen, Wald

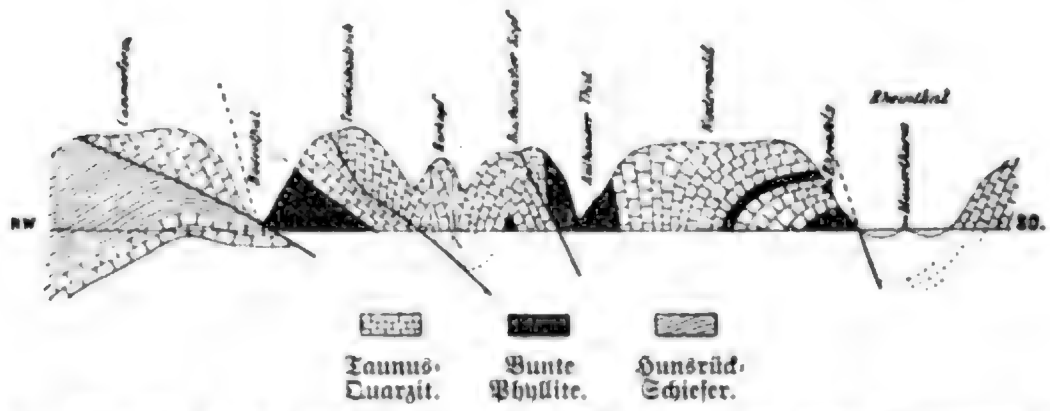


Fig. 95. Profil durch das westdeutsche Mittelgebirge vom Niederwald zum Kammerforst mit vier Verwerfungen und daran hinaufgeschobenen Schollen. (Nach Tornquist.)

wachsen zu lassen. Deshalb ist er die eigentliche Waldformation des westlichen Deutschlands.

Nun sind die Verwerfungen und Brüche nicht nur in Mitteleuropa, sondern in allen Teilen der Welt außerordentlich verbreitet, da sozusagen fast überall solche Dislokationen stattgefunden haben. Um sich nun einen Begriff davon zu machen, wie ein Durchschnitt durch die obersten Schichten der Erdrinde bei uns aussieht, betrachte man außer dem oberen Querprofil in Fig. 94, welches das Karwendelgebirge vor der miocänen Faltung zeigt, die später folgende Tafel, welche uns drei Profile durch den Baseler Jura von Süden nach Norden zeigt. Wir sehen darauf deutlich im Süden, also rechts, den gefalteten Jura und daran nach Norden, also links, angrenzend einen Teil des ungefalteten Tafeljuras. Aber auch dieser ist weit davon entfernt eine ebene Tafel zu bilden. Er ist vielmehr durch zahlreiche Verwerfungen und Brüche in allerlei Schollen zerstückelt worden, die auf alle mögliche Weise an-

einander verschoben erscheinen, teils stehen geblieben, teils aber in die Tiefe gesunken sind. Und an diesen einzelnen Schollen hat die seit der Entstehung der Verwerfungen zur Pliocänzeit, gleichzeitig mit der Auffaltung des übrigen Juras zu Gebirgen, tätige Erosion das Gelände so mannigfaltig skulptiert, daß hier Berg und Tal in buntester Reihenfolge einander ablösen.

In der Regel gehen solche Verwerfungsspalten nicht ganz senkrecht, sondern mehr oder weniger schräg zur Tiefe nieder. Da kann es nicht ausbleiben, daß wenn die Zusammenziehung der betreffenden Partie Erdrinde weiter geht, die abgebrochenen Schollen aneinander in die Höhe geschoben werden, wie wir dies in Fig. 96 sehr deutlich beobachten.

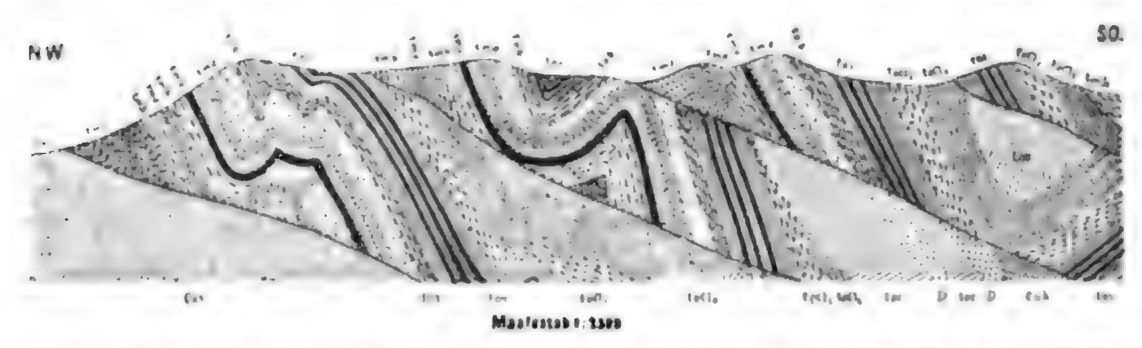


Fig. 96. Profil der an vier Verwerfungsspalten aufeinander geschobenen Schollen von Devonkalken der Enfe und der Hauern bei Wildungen. (Nach Tornquist.)

Dadurch kann, wie in letzterem Profile, eine merkwürdige schuppenartige Struktur des von Verwerfungen durchzogenen Untergrundes hervorgerufen werden.

Es ist ganz natürlich, daß solche passive, durch Stehenbleiben von Horsten zwischen versunkenen Schollen entstandenen Gebirge wenig hoch sind und der Abtragung durch das fließende Wasser verhältnismäßig rasch erliegen. Den Gegensatz dazu bilden die aktiven Gebirge, die durch Faltung der Erdrinde entstanden sind. Zu ihnen gehören alle Kettengebirge überhaupt, von denen uns die mitteleuropäischen, der Jura und die Alpen, als die uns nächstliegenden besonders beschäftigen sollen. Bei ihnen sind infolge eines nahezu allseitig gleichmäßigen Widerstandes die sie zusammensetzenden Schichten bei der Faltung durch seitlichen Zusammenschub weniger gebrochen und an einander abgesunken, als vielmehr aufgerichtet und teilweise über einander geschoben worden.

Bevor wir nun eingehender auf ihre Bildungsweise eintreten, müssen wir uns mit den wichtigsten Vorgängen vertraut machen, welche bei der Gebirgsbildung durch Faltung in Tätigkeit treten. Es gibt

nämlich einige verschiedene Modifikationen der Faltung, über die uns die hier beigefügten sechs linearen Zeichnungen Aufschluß geben. Den einfachsten Fall von **Verbiegung der Schichten** bezeichnen wir als **Flexur**. Es ist dies eigentlich die erste Anlage zu einer Versenkung, aber noch ohne Bruch. Dieser letztere tritt erst ein, wenn bei der Weiterbildung der Flexur die Elastizitätsgrenze überschritten wird und die Schichten auseinanderbrechen. Ein derartiger, aus einer Flexur hervorgegangener Bruch zeigt an der Bruchstelle gewöhnlich noch die **Umbiegung** in Verbindung mit einer **Schleppung der Schichten**, welche im abgesunkenen Teile nach oben, im stehen gebliebenen dagegen nach unten vor sich ging. Eine einfache Flexur wird demnach fast immer auf eine vertikale Bewegung mit seitlicher Spannung zurückzuführen sein. Entsteht aber eine Stauchung der Schichten unter vorwiegend horizontalem Drucke, so wird die Schichtfläche in eine **Falte** aufgeworfen werden, welche nur selten, nämlich bei ganz gleichmäßiger Beschaffenheit des Materiales, vollkommen gerade aufsteigt, meist aber mehr oder weniger einseitig aufgebogen erscheint.

Fig. 97. Eine Flexur.

Fig. 98. Ein Bruch mit Schleppung der Schichten.

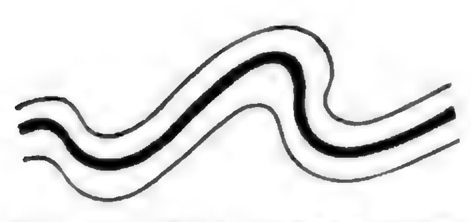


Fig. 99. Eine einfache Falte.

Eine jede Falte besteht aus einem **Faltensattel**, der sogenannten **Antiklinale**, und einer **Faltenmulde**, der **Synklinale**. Ein Tal, das in einer solchen Faltenmulde verläuft, bezeichnen wir als ein **Synklinaltal**; ein solches dagegen, das durch Erosion in einem Faltensattel, also da, wo ein Berg stehen sollte, durch die nagende Wirkung des strömenden Oberflächenwassers eingefressen ist, nennen wir ein **Antiklinaltal**. Die beiden hier wiedergegebenen einfachen Beispiele von solchen in Fig. 103 und 104 illustrieren diese Verhältnisse in sehr anschaulicher Weise.

Bei dem fortgesetzt anhaltenden Drucke wird die einfache Falte immer stärker zusammengepreßt, und da die Zusammensetzung und infolge dessen die Widerstandskraft nicht in allen Teilen derselben gleich ist,

wird sich naturgemäß die Faltenachse nach der Seite des geringeren Widerstandes hin verschieben. Dadurch entsteht eine liegende Falte. Bei einer solchen Verschiebung wird selbstverständlich die größte Pressung auf den zwischen dem Sattel und der Mulde liegenden Teil, den sogenannten Mittelschenkel wirken. Wir sehen deshalb auch hier die Schichten am meisten unter dem Drucke leiden und bei fortdauernder Stauchung auseinandergezerrt werden, so daß schließlich der Mittelschenkel zu einer ganz dünnen Masse ausgezogen wird und reißt. Dadurch

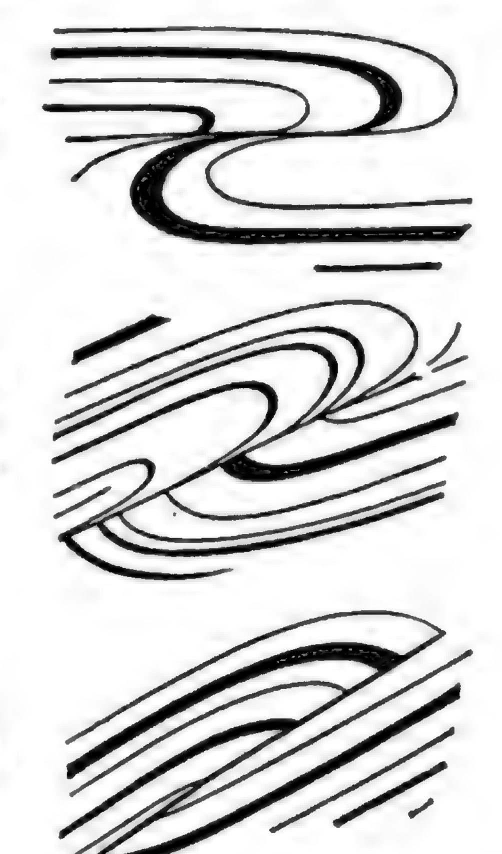


Fig. 100. Eine liegende Falte mit durch Auseinanderzerrung des Mittelschenkels entstandener Schleppung.

Fig. 101. Eine liegende Falte mit zerrissenem Mittelschenkel; über die Bruchstelle beginnt sich durch weitergehende Zusammenziehung des Untergrundes eine Ueberschiebung des oberen Teiles über den liegen bleibenden unteren Teil auszubilden.

Fig. 102. Hier hat der Bruch der Falte zu einer immer weiter fortschreitenden Ueberschiebung des oberen Teiles über den unteren geführt.

entstehen geschleppte und verzerrte Falten, wie wir sie im Jura und in den Alpen, wie überhaupt bei allen Kettengebirgen der Erde in der mannigfaltigsten Weise auftreten sehen. Die Verschiebung und Verzerrung der Falten führt dann schließlich zu Brüchen und Überschiebungen, wie sie uns auch in den vorher besprochenen passiven oder Bruchgebirgen in der verschiedensten Weise entgegentreten.

In den Faltengebirgen sind die härtesten und sprödesten Gesteine fast ebenso wie wenig widerstandsfähige in die kühnsten Falten gebogen worden, als wenn sie nicht aus überaus hartem Fels, sondern aus plastischem weichem Tone beständen. Kalke und Dolomite, Sandsteine und Tonschiefer, Quarzite und Gneise, ja selbst der härteste grobkörnige Granit, sie alle wurden in ihnen ganz gleichmäßig oft in die feinsten

Falten und Fältelungen gelegt. Diese zeigen in der Regel keine sehr starken Zerreißungen und sind höchstens in der Gegend der stärksten Verbiegung etwas zersprungen und gebrochen. Zur Erklärung dieser merkwürdigen Tatsache nahm der bekannte Schweizer Geologe Albert Heim in Zürich an, daß alle Gesteine schon unter einem Drucke von etwa 2000 m darüber lastendem Gesteinsmaterial, unter Mitwirkung der diesen begleitenden nicht unbeträchtlichen Wärme, in einen plastischen Zustand übergehen und dann ohne Bruch gebogen werden können.

Diese Annahme hat von verschiedenen Forschern den allerentschiedensten Widerspruch gefunden, doch hat sie trotzdem noch heute ihre Be-

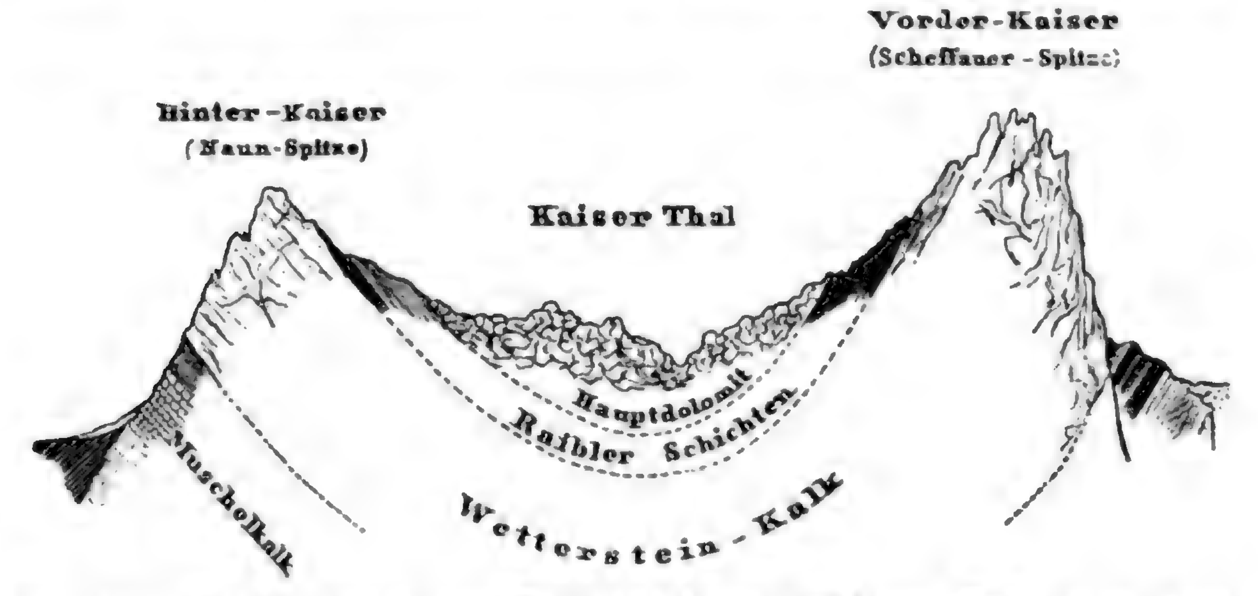


Fig. 103. Profil durch das Kaisergebirge östlich von Kufstein im Tirol mit einem typischen Synklinaltal, d. h. einer flachen Faltenmulde, die von alpinen Triasschichten gebildet wird. (Nach Fraas).

rechtigung behalten, indem tatsächlich die härtesten Gesteine durch seitliche Zusammenpressung in die feinsten Falten und Fältelungen gelegt wurden. Dabei sind natürlich etwa darin enthaltene Versteinerungen mit verbogen und auseinandergezerrt. Dies sehen wir deutlich an den beigegebenen Abbildungen 105 und 106, von denen erstere einen beim Auseinandergezogenwerden des Muttergesteins, in das er eingebettet lag, in Stücke gebrochenen Belemniten, die Spitze des Rückenschulpes eines Tintenfisches der ältesten Jurazeit, letztere dagegen einen verzerrten Ammoniten aus der unteren Kreide zeigt. Neben letzterem ist links zum Vergleiche ein normales solches Exemplar beigefügt. Wenn man bedenkt, daß in den stark gepreßten und auseinandergezogenen mesozoischen Schiefern der Alpen solche Versteinerungen mit dem Gestein, in welchem sie staken, oft mehr als auf das

Dreifache ihrer ursprünglichen Länge in einer scheinbar homogenen Masse auseinandergezerrt wurden, so kann man sich solches durchaus nicht ohne die Annahme einer bedeutenden Plastizität der von den gebirgsbildenden Kräften mechanisch veränderten Gesteine erklären.

Allerdings bemerkt man an den Umbiegungsstellen von, mit freiem Auge betrachtet, anscheinend ganz bruchlos gefalteten Steinen bei der Untersuchung von Dünnschliffen unter dem Mikroskope, daß die einzelnen sie zusammensetzenden Partikel zu feinem Staube zermalmt und dann wieder durch Druck zusammengekittet wurden. Es ist natürlich die Plastizität solcher durch Druckmetamorphose bei der Gebirgsfaltung ver-

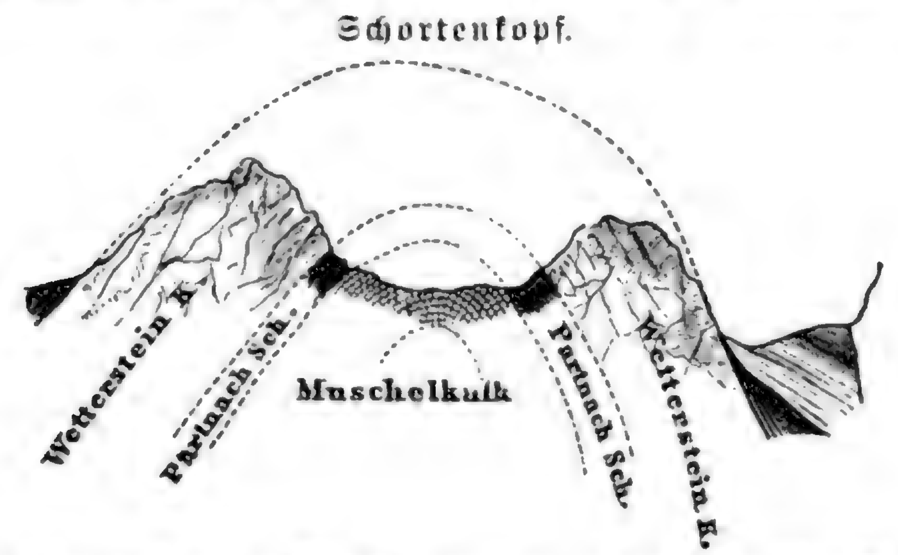


Fig. 104. Schortenkopf im Wendelsteingebiet in den bayerischen Alpen südlich von Rosenheim, mit einem daran angrenzenden typischen Antiklinaltal, d. h. einem Tal, das durch die Erosion in einen Faltensattel aus alpinen Triasschichten hineingefressen wurde. Wo also ein hoher Berg stehen sollte, ist ein Tal entstanden, in dessen Flanken die Schichtgesteine gegen einander geneigt sind. (Nach Fraas.)

änderter Gesteine eine ganz andere als diejenige von weichem Ton. Die Gesteine werden bei der Faltung zerdrückt und hernach wieder zu festem Fels vereinigt, was bei dem ungeheuern hierbei zur Wirkung gelangenden Druck und der bedeutenden Wärme in Verbindung mit dem alle Gesteine mehr oder weniger durchsetzenden und damit ihr plastisches Vermögen erhöhenden Wasser sehr wohl erklärlich erscheint.

Wie durch Kontaktmetamorphose Tone in Berührung mit Ergußgesteinen, wie beispielsweise Granit, zu Tonschiefer und Kalk zu Marmor verändert werden, so wandeln sie sich gleicherweise unter Einwirkung von Druck und Wärme durch sogenannte Dynamo- oder Druckmetamorphose in solche neue Produkte um. So sind in den Alpen die Tone und Mergel der mesozoischen Zeit durch Druckmetamorphose in kristallinische Schiefer,

die Kalke derselben Zeit in Calcit oder Marmor umgewandelt worden. Zu ihnen gehört unter anderem auch der fast flyschartige Bündnerschiefer, den man wegen seines altertümlichen Aussehens bis vor wenigen Jahrzehnten für ein Erzeugnis der archäischen Zeit ansah, zumal er keinerlei Versteinerungen zu enthalten schien, die jüngeren Sedimenten nie fehlen. Erst durch eingehende Untersuchungen, besonders in Dünnschliffen, fand man dann Überreste von zermalmten Versteinerungen, die mit Sicherheit beweisen, daß dieser Bündnerschiefer sehr viel jüngeren Datums ist und aus mesozoischen Schichten, besonders der Jura-, aber auch noch, wie in allerjüngster Zeit durch die beiden Basler Geologen Schmidt und Baumberger nachgewiesen wurde, der Kreidezeit angehörend, besteht, welche eben bei der Alpenfaltung hochgradig verändert wurden und mit der weitgehenden Strukturveränderung auch ihr ursprüngliches Aussehen vollkommen einbüßten.

Fig. 105. Fein gefältelter Schiefer aus den Alpen mit zwei kleinen Verwerfungen. (Nach Albert Heim.)

Jede mechanische Veränderung eines Gesteins, sei es durch Pressung oder Zerreißung, ist nämlich stets auch von allerlei chemischen Zersetzungen begleitet, wobei das unter gewaltigem Druck stehende, oft überhitzte Wasser, das alle Gesteine bis in größere Tiefen durchtränkt, eine kolossale auflösende Wirkung auf die widerstandsfähigsten und scheinbar unlöslichsten Mineralverbindungen ausübt. Dadurch werden die bei der Faltung mechanisch und chemisch veränderten Gesteine vollkommen umkristallisiert. Als Antwort auf den einseitigen Druck lagern sich die einzelnen Kriställchen einseitig parallel der Schichtfläche. Durch solche Dynamometamorphose werden aus verhältnismäßig ganz jungen Tonen Tonschiefer, deren Aussehen ihnen scheinbar ein außerordentlich hohes Alter verleiht, was aber nur Täuschung ist. Dieser falsche Schein wird noch durch das Fehlen der Versteinerungen vermehrt; diese wurden eben bei der Umkristallisation aufgelöst und zerstört. So wurde

aus dem oligocänen blauen Tone, der beispielsweise in Basel in großer Mächtigkeit unter den Schottermassen der Eiszeit sich findet und stellenweise als sogenannter blauer Letten mit Lehm vermengt zur Ziegelfabrikation dient, in den in die Alpenfaltung einbezogenen und dadurch stark gepreßten Schichten der Glarnerberge ein scheinbar sehr alter, überaus harter Tonschiefer, der als Matterschiefer zur Herstellung von Schiefertafeln benutzt wird, während der wohl mindestens 400 Millionen Jahre ältere kambrische Ton von St. Petersburg, der seit seiner Ablagerung durch eine Humusdecke vor Zersetzung geschützt, an der Ober-

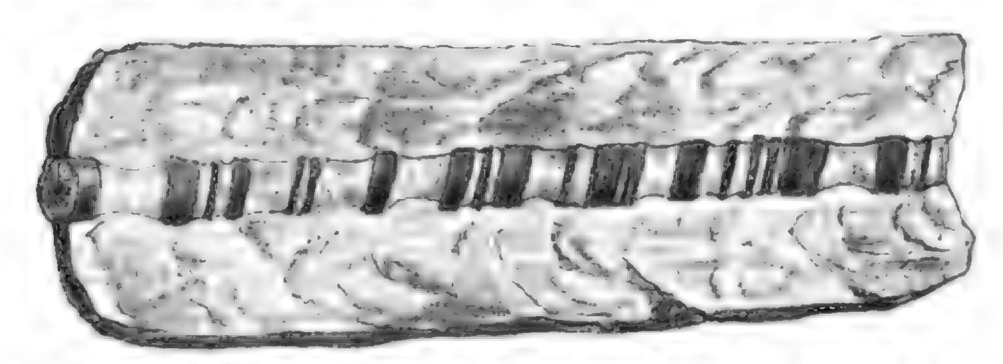


Fig. 106. Durch Gebirgsfaltung auseinandergezerrter und in Stücke zerbrochener Belemnit oder Donnerkeil, bestehend aus der unteren Spitze des Rückenschulpes eines Tintenfisches des Lias oder unteren Jura. Die Zwischenräume zwischen den dunkeln cylindrischen Teilstücken desselben sind durch weißen kohlensauren Kalk, der aus dem umgebenden Muttergestein durch Sickerwasser ausgeschieden wurde, ausgefüllt worden.

fläche liegen blieb und keinerlei Druck weder von oben, noch von der Seite ausgesetzt wurde, heute noch so weich und plastisch ist, als wäre er erst vor kurzem aus der Meerestiefe an die Oberfläche der Erde gehoben worden.

So ist gleicherweise der durch organische Beimengungen, vermutlich tierischer Natur, schwarzgefärbte Hochalpenkalk der mesozoischen Zeit durch Dynamometamorphose in wellige, heller und dunkler gestreifte Kalke, ja stellenweise sogar zu ganz weißem, grobkristallinischem Kalk, also Marmor, umgewandelt worden, indem aus ihm bei der Umkristallisation die organische Substanz vollkommen entfernt wurde. Sogar Granite wurden senkrecht zum faltenden Drucke „gebankt", ihre Mineralbestandteile zerrissen und teilweise zermalmt, Quarz und Glimmer zu Linsen und parallel gelagerten Flasern ausgezogen, Feldspat und Glimmer nicht nur zerrissen, sondern auch chemisch zersetzt. Solche durch Gebirgspressung geschichtete Granite, die in den Alpen meist dickbankige Lager von Charakter und Zusammensetzung der kristallinischen Schiefer bilden

und durch das Auftreten der an sie gebundenen sericitischen Mineralien, welche als Saussürit und Helvetan bezeichnet werden, charakterisiert sind, bezeichnet man als Protogine. Solche durch Dynamometamorphose zu Protogin umgewandelte gepreßte Granite finden sich gerade in den am intensivsten gefalteten Teilen der Zentralalpen, wie am Mont Blanc, im mittleren Teil des Finsteraarmassives usw., während dagegen in den weniger gestörten Gebieten die Granite kaum verändert sind. Auch der Quarzporphyr der kleinen Windgälle im Kanton Uri, der auf der Innenseite einer liegenden Falte eine starke Pressung erlitten

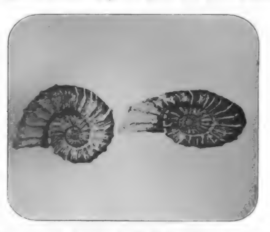


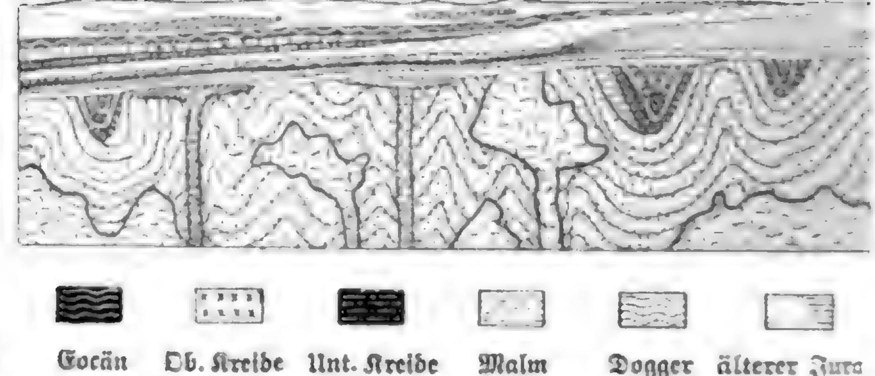
Fig. 107. Normaler und daneben durch Gebirgsfaltung gestreckter Ammonit der Gattung Crioceras aus der unteren Kreide.

hat, ist in ein vollständiges schieferiges Gestein, dem man seine Herkunft aus feuerflüssigem Materiale wahrhaftig nicht ansehen würde, umgewandelt worden (s. Fig. 110).

In jedem Gebirge sind beträchtliche Unterschiede der Faltung oft nahe beieinander zu finden. So tritt uns in den Westalpen eine viel größere Zusammendrängung der Falten auf demselben engem Raume als in den Ostalpen entgegen, daher ist das Gebirge hier höher, die Pressung und Faltung ist eine höchst intensive und geht in den zentralen Gebieten bis zur Fächerbildung. Dabei besteht ein geringeres Hervortreten der Längstäler, die sonst die Gebirgsfalten von einander zu trennen pflegen. In den Ostalpen dagegen sind infolge der schwächeren Faltung die Höhen geringer, der Bau des Gebirges ist verhältnismäßig

Digitized by Google

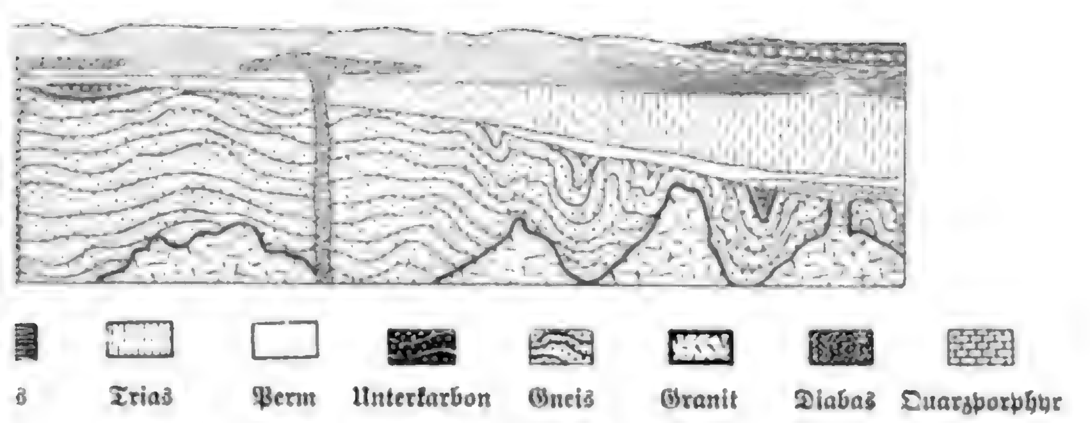
N Zentralmassive



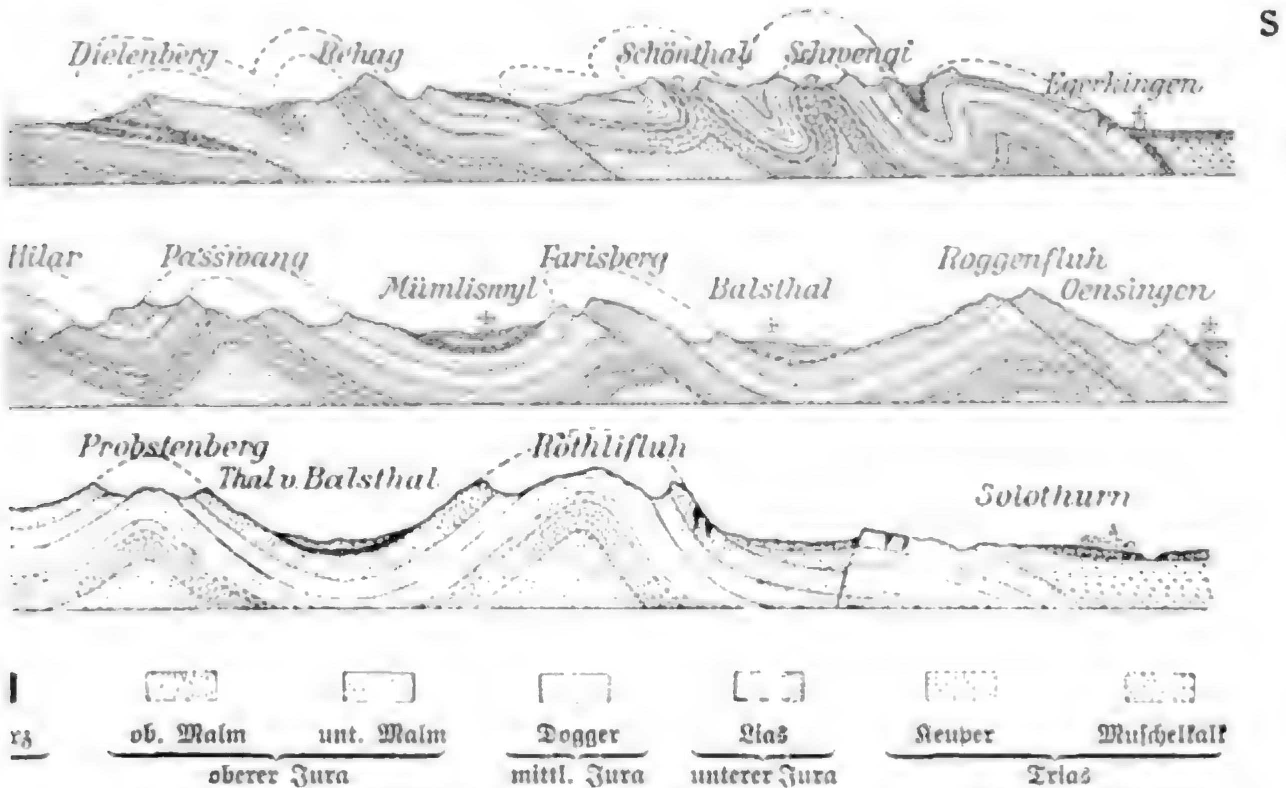
Profil I. **Die südlichen Schweizeralpen vor der miocänen Haupt** stark gefaltetem Gneis und Unterkarbon als dem Untergrunde des zur mitt karbon-, Perm-, darüber die mesozoischen und zu oberst die neozoischen Se erwähnten Eruptivmassen dazwischen. Diese Sedimentdecke wurde in die m Profilen durch die Penninischen Alpen sehen, ganz außerordentlich stark dis tiefen Faltenmulden üb

Profile II—IV. **Die Profile durch den Jura südlich von Basel.** Na schnitte stehen parallel zueinander, der unterste am meisten westlich, der ob Im Süden sehen wir die Juradecke über die mächtige, die ganze Mittel wölbten Ketten mit einigen Verwerfungen dazwischen nach Norden wende Norden übergelegt, geschleppt und, wo der Mittelschenkel zerriß, auch über Falte, die sich am nicht mehr in die Faltung einbezogenen, sondern nur wirkenden Schubes disloziert wurde. Durch die seit mehr als 1½ Mi faltung vermutlich durch zahlreiche Längsrisse aufgelockerten Gewölbescheitel geligen Oxfordschichten des unteren Malms angeschnitten wurden, die für auch der in zahlreiche, mehr oder weniger abgesunkene Schollen zersplittert daß er jetzt zwischen den Hochflächen stark eingeschnittene Täler aufweist. hügeliges, sondern auf ein recht bergiges Land, das sich dann allerdings im Ketten Höhen bis rund 1200 m, weiter südwestlich aber an der französischen de la Neige westlich von Ge

Profil I.



ng. (Nach Prof. Karl Schmidt 1895.) Dieses schematische Profil zeigt uns auf
Karbonzeit aufgefalteten und wieder abgetragenen variscischen Gebirges Ober-
wie sie nacheinander zur Ablagerung kamen, mit den verschiedenen im Texte
: Auffaltung der Alpen miteinbezogen, ist aber dabei, wie wir auf den farbigen
und in der Folge fast ganz wegerodiert worden, so daß heute nur noch in den
:e davon gefunden werden.



of. Karl Schmidt und anderen Baseler Geologen. Diese geologischen Durch-
ngegen am meisten südlich, und zwar verlaufen alle von Süden nach Norden.
:deckende miocäne Meeresmolasse hervortauchen und sich in unregelmäßig ge-
den von Süden her wirkenden Schub sind alle Gewölbe meist sehr stark nach
worden. Besonders ausgiebig erfolgte die Überschiebung an der nördlichsten
vorfenen Tafeljura staute und so energisch in der Richtung des auf sie ein-
Jahren an ihnen arbeitende Erosion sind dann besonders die bei der Auf-
ıbgetragen worden und weisen überall, wo die wenig widerstandsfähigen Mer-
tenjura typischen Oxfordkomben auf. Durch diese Wassererosion wurde aber
ura, der links auf den beiden oberen Profilen zu sehen ist, so reich skulptiert,
essen stoßen wir bei der Wanderung durch diesen Tafeljura nicht nur auf ein
ura zum eigentlichen Gebirge erhebt, welches in den hier dargestellten niedrigen
e solche bis zu 1700 m und darüber aufweist. So besitzt beispielsweise der Crêt
:te noch eine Höhe von 1723 m.

viel einfacher, die Falten sind oft nur Gewölbe und nie so wie dort mehrfach übereinander gelegt und auf das seltsamste geschleppt und verzerrt Immer sind zwischen den Faltengewölben sehr zahlreiche, deutlich ausgebildete Längstäler eingeschaltet, und gegen den Ostrand zu strebt das ganze ebenso auseinander, wie es im Westen zusammengefaßt ist; deshalb zeigen die Ostalpen eine sehr viel größere Ausladung und Breite als die Westalpen.

Bevor wir es unternehmen, ihren Aufbau zu studieren, der sich um so komplizierter gestaltet, je genauer derselbe bekannt wird, wollen wir kurz unsere Aufmerksamkeit dem sehr viel einfacher aufgebauten schweizerischen Kettenjura schenken, der sich viel später als die Alpen, nämlich erst gegen das Ende der Pliocänzeit in der Weise faltete, daß sich 16 Bergketten von meist bedeutender Länge parallel hintereinander aufrichteten. Der zur Faltung führende Schub geschah von Südosten nach Nordwesten. Dabei wurden die nördlichsten Sättel zuerst aufgefaltet und erst nach ihnen rückwärts fortschreitend auch die südlicheren. Deshalb sind die letzteren, weil gleichzeitig mit der Auffaltung die Einebnung durch Abtragung des Gebirges einsetzte und damit Hand in Hand ging, als die jüngeren viel höher wie die zuerst gefalteten älteren und deshalb zum großen Teile schon wieder abgetragenen nördlicheren Abschnitte.

Im ganzen Bereiche des Tafeljuras, den wir hauptsächlich im nordöstlichen Teile des Schweizerjuras antreffen, hat der sonst zu ausgiebiger Faltung führende Seitendruck keine solche hervorzurufen vermocht. Die Sedimentschichten verblieben hier in wagrechter Lage; sie wurden nur von zahlreichen Brüchen und Verwerfungen betroffen, indem einzelne Schollen passiv stehen blieben, andere dagegen aktiv in die Tiefe sanken, wobei teilweise eine Schrägstellung derselben eintrat. Überschiebungen der einzelnen Schollen fanden kaum je statt. Wo aber die Erdschichten dem Tangentialschube nachgaben, führte der zunehmende Seitendruck zur Bildung von sich immer höher emporwölbenden Falten, deren Gewölbe sich aber nie ganz regelmäßig ausbildeten, sondern fast stets mehr oder weniger disloziert d. h. verschoben wurden. In der Regel erscheinen sie in der Richtung, nach welcher sie zusammengeschoben wurden, leicht überhängend. Seltener bildeten sich liegende Falten und dies hauptsächlich nur dort, wo an der Grenze zwischen dem Tafel- und Faltenjura durch eine Aufstauchung die stärksten Lagerungsstörungen der aufgefalteten Schichten stattfanden. Hier wurden, wie die Profile sehr schön zeigen, bei zunehmendem Zusammenschube die Falten in ihren

am meisten der Zerrung unterworfenen Nordschenkeln geschleppt, ausgequetscht und zuletzt zerrissen, wonach die nicht mehr zusammenhängenden Teile derselben bis zu einem gewissen, allerdings meist sehr geringen Betrage übereinander geschoben wurden.

Ein verhältnismäßig sehr wenig gestörtes Juragewölbe zeigt uns der hier wiedergegebene Durchschnitt durch den Paßwang. Der Gipfelpunkt des gewaltigen Sattels lag einst so hoch als die von der Schicht 2 ausgehende, in Gedanken zu rekonstruierende Verbindungslinie sich über die höchste punktierte Linie erhebt. Man bezeichnet solche

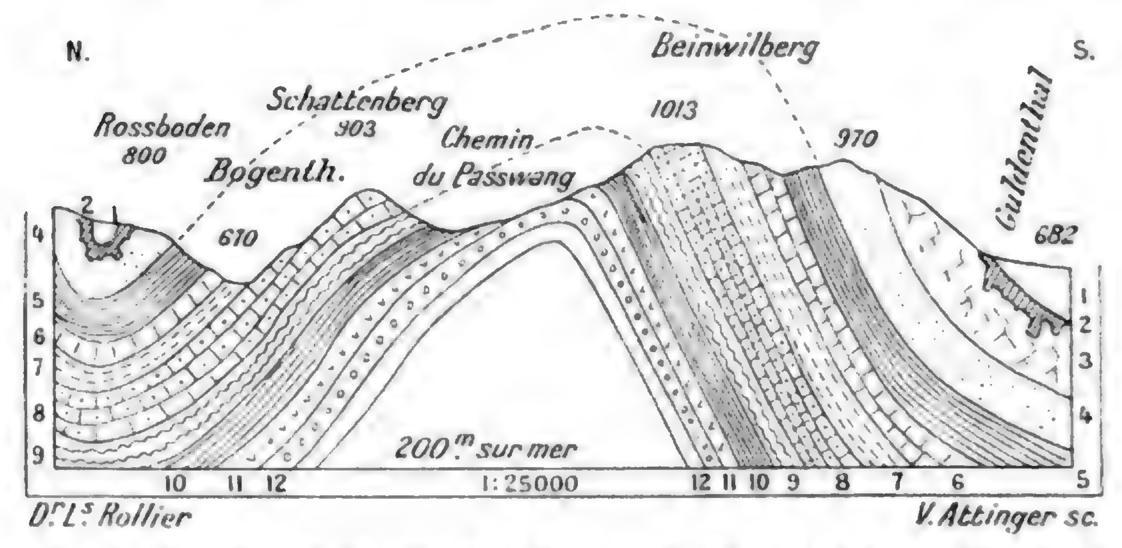


Fig. 108. Querschnitt durch den Paßwang im Basler Jura als Beispiel eines allerdings heute durch die Erosion halb abgetragenen, durch Gebirgsfaltung entstandenen Gewölbes. Der höchste Punkt dieser Bergruine erhebt sich bis zu 1207 m Höhe und ist einer der meistbesuchten Aussichtspunkte im östlichen Jura: 1 Oligocän, 2 Eocän (Bohnerzbildung), 3–7 Malm, 8 und 9 Dogger, 10 und 11 Lias, 12 Keuper. 10 sind weiche Liasmergel und 7 ebenfalls der Erosion wenig Widerstand leistende Oxfordtone des untersten Malms, die sog. Cordatus- und Renggeri-Schichten von etwa 30 m Mächtigkeit.

Sättel, die einmal waren, aber heute nicht mehr sind und durch die Luft ergänzt werden müssen, als Luftsättel.

Dieses Gewölbe des Paßwangs, das vermutlich noch im Ausgang der Pliocänzeit in seiner Totalität hier stand, ist inzwischen, wie die meisten andern auch, der Erosion anheimgefallen und um reichlich 700 m erniedrigt worden, und zwar hat die Abtragung naturgemäß in den weichen mergeligen Schichten größere Fortschritte als in den harten Kalken zu machen vermocht. So finden wir links, d. h. nördlich vom Hauptgipfel, die erste große Mulde, die sich hauptsächlich in die Liasmergel (10) eingefressen hat. Dann folgt weiter nach links die aus Dogger,

und zwar Hauptrogenstein, gebildete Kuppe des Schattenberges als ein, weil aus härterem Materiale bestehender, deshalb stehen gebliebener Grat. Dann folgt die zweite, noch tiefere Mulde des Bogentales, welche hauptsächlich in die weichen Oxfordschichten des untersten Malms (7) eingeschnitten wurde.

Solche längs einer Gebirgskette eingeschnittenen Hohlformen bezeichnet man mit einem dem Sprachschatze der französischen Schweiz entnommenen Ausdruck als Comben. In der ersteren Mulde, die dem Gewölbe entlang läuft, tritt uns eine Lias- und in derjenigen des Bogentals eine Oxfordcombe entgegen. Jene werden viel seltener als diese im Jura angetroffen, weil die Liasmergel so tief im Berge drinnen liegen, daß die Erosion in der Regel noch nicht so tief in das Innere des Gewölbes eingedrungen ist, um sie frei zu legen. Die oberflächlicheren Oxfordcomben jedoch treten uns bei den Wanderungen durch den Jura auf Schritt und Tritt entgegen. Sie sind hier so häufig, daß sie geradezu regelmäßig die Gewölbeprofile unterbrechen und sich überall in der Silhouette der Berge, sobald man den Blick längs der Kämme richtet, geltend machen. Jedes Querprofil durch den Faltenjura zeigt uns solche Oxfordcomben. In großer Zahl treten sie uns auf den drei Juraprofilen entgegen, die wir genauer daraufhin zu prüfen bitten.

Fig. 109. Wildhauser-Schafberg vom Hau aus aufgenommen. Das punktierte Faltengewölbe der der oberen Kreide angehörenden Seewerkalke, unter welchen weiche Mergel sich finden, ist durch Erosion entfernt worden und an dessen Stelle hat sich unter dem Luftsattel eine Mulde längs dem Berge gebildet.

Solche Längsmulden entstehen stets da, wo unter härteren Kalken weiche Ton- und Mergellager sich finden. Sobald die Erosion sich durch jene Bahn gebrochen hat, schafft sie energisch die wenig widerstands-

fähigen darunter liegenden Schichten beiseite. Dadurch werden die härteren darüber geschichteten Kalkgewölbe untergraben, stürzen nach und verfallen so ebenfalls leichter der Abtragung durch das bergabfließende Wasser.

Merkwürdigerweise sind nicht sowohl die Abhänge der Muldentäler, sondern gerade die Faltensättel des Juragebirges verhältnismäßig am stärksten erodiert. Es ist dies zweifellos darauf zurückzuführen, daß bei der Faltung die harten Kalkschichten an den Gewölben in zahlreichen Längssprüngen zerbrachen, so daß die Erosion durch das fließende Wasser gerade an ihnen am kräftigsten einsetzen konnte.

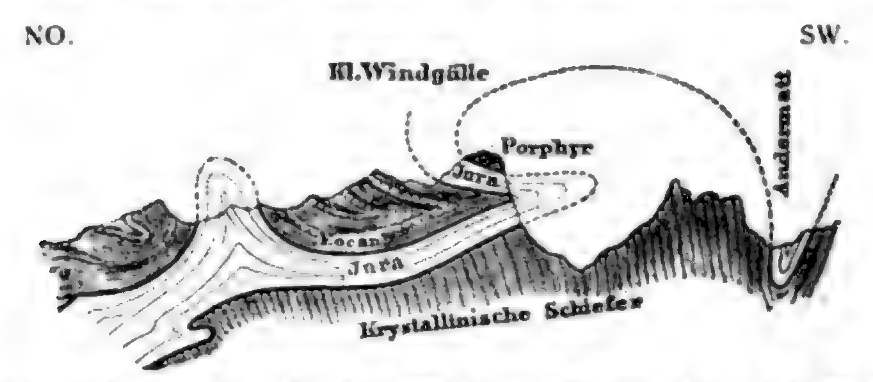


Fig. 110. Querschnitt durch die Kleine Windgälle als Erklärung der nebenstehenden Fig. 111. (Nach Heim und Schmidt.)

Eine solche, noch jüngere Schichten als die Oxfordzone des untern Malms betreffende combenartige Erosionsform, sehen wir in der folgenden Figur 109 des Wildhauser Schafbergs. Dort ist ein ganzes, durch punktierte Linien angegebenes Gewölbe, bestehend aus harten Kalken der oberen Kreide, die man nach dem Dorfe Seewen bei Schwyz, wo sie in größerem Maße als guter Baustein ausgebeutet werden, als Seewerkalke bezeichnet, durch die Erosion weggeschafft worden, indem das fließende Wasser durch Spalten im Gewölbe seinen Weg durch die harten Seewerkalke zu den weicheren darunter gelegenen Mergeln fand, diese auswusch und dadurch das darüber liegende feste Gewölbe mehr und mehr zum Einsturz brachte. Links vom punktierten Luftsattel sehen wir den Faltenschenkel keilartig ausgequetscht. Dann erhebt sich aufs neue ein nur schwach angedeuteter Faltungsbogen, der ganz abgetragen wurde.

Im Gegensatz zu solchen überaus häufigen Längsmulden, den Comben, stehen im Jura die viel selteneren Quermulden oder Klusen, die bisweilen ganze Faltengewölbe durchschnitten haben, so daß das abfließende Wasser durch sie hindurch von einem Längstal in das andere abgeleitet wird. Die Bildung solcher Klusen kam dadurch zustande,

Fig. 111. Die große Windgälle (3192 m) und rechts davon die etwas niedrigere kleine Windgälle im Kanton Uri, von Westen gesehen. Das Bergmassiv ist vorn vom Reußtal, südlich vom Maderaner- und nördlich vom Evital begrenzt. Über älteren mesozoischen kristallinischen Schiefern, hauptsächlich der Trias angehörend, finden wir Dogger und Malm (Jura), darüber einen unregelmäßigen Keil von eocänem Flysch, (dann wieder Jura und zu oberst eine Bekrönung von vulkanischem, durch Druckmetamorphose bei der miocänen Gebirgsfaltung der Alpen stark verändertem Quarzporphyr. Diesen merkwürdigen Aufbau des Gebirges verstehen wir sofort, wenn wir den an der Stelle des Pfeiles vorgenommenen Querschnitt des Berges in Fig. 110 betrachten. Wir sehen dort den hier gegen uns gerichteten Jurakeil ausgewittert, so daß der dazwischen gefaltete eocäne Flysch die beiden Schenkel trennt. (Nach Heim und Schmidt).

Digitized by Google

daß an einem sich langsam durch Faltung aufrichtenden Berge sich alsbald ein reißender Bergbach eine Rinne einsägte, welche er mit dem bei der Weiterfaltung zunehmenden Gefälle immer energischer in den Berg einfraß, so daß schließlich der ganze Bergrücken durchschnitten wurde. Während der zu oberst liegende harte Malm der Erosion am meisten Widerstand entgegensetzte, nahm dieser umsomehr ab, in je tiefere, ältere Schichten der reißende Bergbach sich einschnitt. So wurde mit zunehmender Leichtigkeit der weichere Dogger durchsägt und schließlich lagen die noch weicheren Liasmergel offen, welche sehr rasch vom fließenden Wasser immer weiter nach beiden Seiten ausgelaugt und weggespült werden konnten. Darüber brachen sukzessive die härteren Dogger- und zuletzt die allerhärtesten Malmschichten ein, bis der Einschnitt fertig war.

So treffen wir beispielsweise in den Klusen von Mümliswil und Oensingen die lehrreichsten Durchschnitte durch die von ihnen durchsägten Juragewölbe, die in der Mitte durchaus nicht etwa schluchtartig schmal, sondern vielmehr durch das gerade dort am ausgiebigsten stattfindende Nachbrechen der oberen jüngeren Schichten links und rechts vom Durchpaß amphitheatralisch muldenförmig ausgehöhlt sind. Eng sind jeweilen nur der Ein- und Ausgang in die Klus, die dem Ganzen den Namen gaben — vom lateinischen clusus, geschlossen — und wo jeweilen trutzige Burgen von den Feudalgeschlechtern des Mittelalters errichtet wurden, um möglichst bequem die mit ihren Wagenzügen den engen Durchgang passierenden Kaufleute brandschatzen, zum mindesten aber einen ordentlichen Durchgangszoll von ihnen verlangen zu können.

Die Faltung des Juras, die uns zunächst beschäftigte, steht in engstem Zusammenhange mit derjenigen der Alpen, die allerdings viel früher, nämlich schon am Ende der Oligocänzeit sich in den zentralen Teilen bemerkbar machte. Sie setzte zunächst ganz langsam ein, zeigte dann zur Miocänzeit ihre größte Intensität und wurde endlich in Pliocän mehr oder weniger beendigt. Zugleich mit der Auffaltung ging auch hier selbstverständlich, wie bei allen Gebirgen, die Abtragung durch Erosion gleichzeitig vor sich, so daß wir am Nordrande der Alpen, beispielsweise nördlich vom vielbesuchten Vierwaldstättersee die miocäne Nagelfluh, aus welchem das ganze Massiv des Rigi besteht, als Verwitterungsprodukt der zuerst aufgefalteten Alpen auch noch gehoben und teilweise mitgefaltet finden, und zwar sind die miocänen Schichten um so energischer in die Faltung mit einbezogen worden, je näher sie an das Alpengebiet heranreichen.

Auch die Alpen sind, wenigstens in den mittleren, zur Schweiz gehörenden Teilen, die hier vorzugsweise Berücksichtigung finden sollen, durch einen von Süden nach Norden wirkenden Tangentialschub aufgefaltet worden, wobei das betroffene Gebiet nicht nur etwa um 20 Prozent, wie im Jura, sondern um einige 100 Prozent verkürzt wurde.

Das Gebiet der Schweizer Alpen ist, wie wir bestimmt wissen, im Laufe der Erdgeschichte mindestens zweimal von Faltungen betroffen

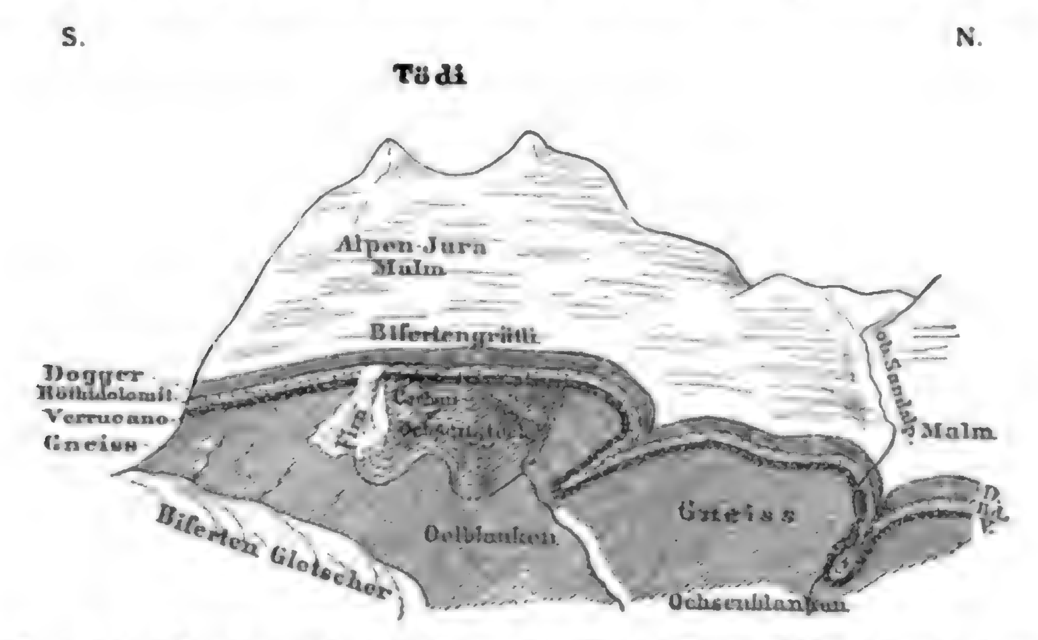


Fig. 112. Die Karboneinfaltung in Gneis am Bifertengrat zwischen Linth- und Vorderrheintal als Ueberrest des zur mittleren Karbonzeit aufgefalteten und wieder abgetragenen variscischen Gebirges. Auf der so eingeebneten und aufs neue ins Meer versenkten Fläche wurde zur jüngeren Permzeit der Verrucano, zur älteren Triaszeit der Rötidolomit, darüber zur Jurazeit Dogger und in mächtiger Ausbildung Malm in Form von Kalken abgelagert und das Ganze bei der Alpenfaltung zur Miocänzeit aufs neue in Falten gelegt. Der Bifertengrad ist im Osten vom Bifertenstock (3426 m) und im Westen vom Tödi (3623 m) eingefaßt. (Nach Rothpletz.)

worden; es scheint also die Gebirgsbildung an den Stellen, wo sie einmal tätig war, gerne ihre Arbeit wieder aufzunehmen. Vermutlich sind besondere Bedingungen im Untergrunde solcher Gebiete vorhanden, die zur Folge haben, daß die Schrumpfung der Erdrinde hier öfter und stärker als anderswo zum Ausdruck kommt.

So wurde zum ersten Mal zur mittleren Karbonzeit von Südengland beginnend bis südlich von den Alpen das bereits früher erwähnte variscische Gebirge aufgefaltet, welches die gewaltigsten Störungen am Nordrande des gefalteten Gebietes, besonders in den

Gegenden von Belgien ostwärts bis in die Sudeten aufweist. In Belgien müssen damals, nach den besonders in den dortigen Kohlenbecken auffallend zutage tretenden Überresten der Faltung zu schließen, Berge von etwa 6000 m Höhe bestanden haben. In der Richtung von Norden nach Süden nahm die Stärke der Faltung nach und nach ab; es entstanden dann, nachdem das hohe Gebirge fast ganz abgetragen war, breite Mulden, in denen sich zuletzt, als sie wieder ins Meer untertauchten, die Schichten der oberen, produktiven Steinkohle ablagerten. Wie zur Zeit des Oberkarbons war die zentrale Zone der Alpen zur oberen Perm- und unteren Triaszeit Festland. Zur unteren Permzeit dagegen haben sich in der Nord- und Südzone Brackwasserbildungen, vermischt und durchzogen mit vulkanischen Ausbrüchen von Melaphyr und Quarzporphyr, gebildet.

Während in der Südzone der Alpen von der unteren Trias an, bis zur mittleren Kreidezeit ein nach und nach mächtige Sedimentschichten aufhäufendes tiefes Meer bestand, waren die mittlere und nördliche Zone zur unteren Triaszeit Festland, bildeten aber von der mittleren Trias an bis zum Ende des Doggers ein seichtes Meer. Dabei erfolgten zur Lias- und unteren Doggerzeit in der zentralen Zone verschiedene stärkere vulkanische Ausbrüche von Diabasen.

Von der frühesten Malmzeit an hob sich dann die zentrale Zone, wurde Festland und hat nur vorübergehend eine Meeresbedeckung getragen. Die nördliche Zone dagegen senkte sich vom Dogger an, wo hier ein meist seichtes Meer bestanden hatte, immer tiefer, so daß schon zur Malmzeit eine Tiefsee dort vorhanden war. Dieses tiefe Meer wurde mit dem Beginn der Kreidezeit etwas weniger tief und blieb es bis zur Oligocänzeit, wo an dessen Stelle ein seichtes Meer brandete.

Die letzten Diabaseruptionen erfolgten hier während des Eocäns. Die südliche Alpenzone flachte sich gleichzeitig von der Tiefsee, die bis zur mittleren Kreide hier geherrscht hatte, zum Küstenmeere im Eocän ab, und als sich vom Miocän an von der Mittelzone nach der nördlichen übergreifend die letzte große Alpenfaltung erhob, brandete das Meer noch lange in schmalen Fjorden in das Alpengebirge hinein, bis auch diese Fjorde ausgefüllt wurden und durch das nachträgliche Absinken des Alpenkörpers im Pliozän sich nach und nach die heutigen Verhältnisse anbahnten. (S. Profil der Alpen vor der miocänen Faltung.)

Auf diese kurze Geschichte der Land- und Meerbedeckung dieser Gegend uns stützend, werden wir in der Nord- und Südzone der Alpen von der Permzeit an, welche die als Verrucano bezeichneten Porphyr-

und Quarzkonglomerate, Sandsteine und Tonschiefer als Trümmergesteine von meist roter und grüner Färbung in der Zeit des Rotliegenden Deutschlands ablagerte, bis zur Hauptgebirgsbildung im Miocän alle mesozoischen und alttertiären Sedimente übereinander in gewaltiger Mächtigkeit zu erwarten haben. Die Bezeichnung Verrucano stammt, nebenbei bemerkt, von dem Gesteine, das in gleicher Weise auch im Apennin vorkommt und dort die Felsen des Schlosses Verruca bei Pisa zusammensetzt, dessen Aequivalent in den ligurischen Alpen in Form eines gneisartigen Talkgesteines 800 bis 1000 m Dicke erreicht.

Über diesem Verrucano haben wir die ganze Trias in stellenweise gewaltiger Ausbildung in Form von Kalken und Dolomiten entwickelt. In die Zeit der Bildung des oberen Muschelkalkes fällt im Osten die Entstehung der Schlerndolomite und des Wettersteinkalkes. Der letztere hat seinen Namen von seiner prächtigen Entwicklung im Wettersteingebirge, wo er eine bis zu 1000 m mächtige Ablagerung von massigem oder nur ganz undeutlich geschichtetem Kalkstein bildet, der in ungeheuren Felswänden die schroffen Gipfel der tirolisch-bayrischen Grenzgebirge bildet. Beide sind der Hauptsache nach als Riffbildungen, in seichtem, langsam sich vertiefendem Meere entstanden, und zwar waren an ihrer Bildung nicht bloß Korallen beteiligt, sondern auch, besonders im Wettersteinkalk, in noch ausgedehnterem Maße kleine röhrenförmige marine Kalkalgen mit durchbohrten doppelten Wänden, und zwar aus dem in den Alpen sehr verbreiteten Geschlechte Gyroporella.

In den Schweizeralpen ist die oberste Trias, dem deutschen Keuper entsprechend, mager und fossilleer in zwei Horizonten von geringer, nur etwa 60 m betragenden Mächtigkeit entwickelt, nämlich 1. als Rötidolomit, nach der Alp Röti am Nordabhange des Tödi von Escher von der Linth so genannt, und 2. als Quartenschiefer, nach dem Dorfe Quarten am Walensee so bezeichnet. Diese beiden sind in der inneralpinen Zone durch Dynamometamorphose hochgradig verändert. Ersterer wurde zu einem der Rauchwacke aus der ältesten Karbonzeit ähnelnden zelligen Dolomite und letzterer zu einem oft so kristallinischen, meist grünen Tonglimmerschiefer, daß er seinem Aussehen nach von den alten azoischen Schiefern nur schwer unterschieden werden kann. Der oberste Keuperhorizont wird in den Alpen als Rhät bezeichnet und erreicht in Form von Riffkalken und Riffdolomiten eine Mächtigkeit von über 1000 m. Er ist besonders stark im Dachsteingebiet entwickelt und wird deshalb in den Ostalpen gewöhnlich als Dachsteinkalk und Dachsteindolomit bezeichnet.

In der Schweiz ist in der Zone der Nordalpen der Lias in Form von schwarzen Kalken oder Mergelschiefern sehr schwach, in der Südzone dagegen außerordentlich stark entwickelt. Letztere stellen schwarze plattige Kalke mit weißen Bändern von Quarz dazwischen dar und sind eine echte Tiefseebildung. So besteht beispielsweise der ganze obere Teil des 1793 m hohen Monte Generoso südlich vom Luganersee in etwa 800 m Mächtigkeit aus Schiefern des unteren Lias. Nachdem wir im vorigen Abschnitte erfahren haben, wie überaus langsam sich Sedimente in der Tiefsee ablagern, so sind wir gezwungen, zu deren Bildung weit über 30 Millionen Jahre anzunehmen.

Fig. 113. Felswand am Flusse Beraun in Böhmen mit sehr stark gefalteten silurischen Kalken als Folge einer zur mittleren Karbonzeit erfolgten Gebirgsfaltung, die der variscischen entspricht.

Umgekehrt ist in der Südzone der Alpen der Dogger und Malm schwach, in der Nordzone dagegen, wo die Liasbildung dafür eine recht schwache war, sehr stark ausgebildet in Form des meist dunkel gefärbten **Hochgebirgskalkes**, der mancherorts Brachiopoden (d. h. Armfüßer, eine Art Muscheln) oder Riffkalke umschließt, an anderen Orten aber starke Kieselbeimengungen von Radiolarien und Schwämmen in Form von grauen und roten Hornsteinen enthält. Ein metamorphes Jurasediment ist auch der hauptsächlich zur Lias- und Doggerzeit, teilweise sogar noch während des Malms und der Kreidezeit in einem ziemlich seichten Meere in 1500 bis 2000 m Mächtigkeit abgelagerte **Bündnerschiefer**.

Wie die Jurasedimente, so erreichen auch die Kreideablagerungen der Alpen in Form von Kalken, Kieselkalken und Mergeln eine große Mächtigkeit. Desgleichen die darüber liegenden eocänen Ablagerungen, die man als Flysch bezeichnet. Es sind dies durch starke Dynamometamorphose hochgradig schieferig veränderte Kalke, Tone und Sandsteine, die in bunter Wechsellagerung auf einander folgen und zusammen einen Schichtenkomplex in vielen hundert Metern Mächtigkeit aufbauen, der trotz der Mannigfaltigkeit der Gesteinstypen einen ungemein monotonen

Eindruck macht. Die älteren Stufen desselben sind durch das Auftreten der als Nummuliten bezeichneten großen Foraminiferen ausgezeichnet. Dieser Flysch stellt die jüngste alpine Meeresablagerung dar. Nur von zwei Stellen der Alpen sind darüber liegende noch jüngere Meeresablagerungen unter der Bezeichnung Ralligsandsteine bisher bekannt geworden.

Gegen den Alpenrand hin wird das tertiäre Material schon im Oligocän gröber und entwickelt sich schließlich hier im Unter- und Obermiocän zu der aus großen Geröllen zusammengebackenen, kalkigen subalpinen Nagelfluh, welche den Rigi, Speer und andere Berge der Mittel- und Ostschweiz zusammensetzen. Diese bunte und kalkige Nagelfluh ist am Alpenrande steil aufgerichtet als Zeichen dafür, daß die Alpenfaltung nach ihrer Bildung im Miocän noch weiter ging. Wenn auch die Hauptfaltung der Alpen während des Miocäns vor sich ging, so hat sie doch teilweise noch in die Pliocänzeit hinübergereicht, während die Jurafaltung, wie wir gesehen haben, erst am Ende der Pliocänzeit erfolgte. Der Schub erfolgte in den französischen Alpen von Osten nach Westen, in den Schweizer- und deutschen Alpen jedoch von Süden nach Norden.

Wie kräftig die Faltung gewirkt hat, das zeigen uns die verschiedenen beigegebenen Profilzeichnungen durch die Alpen, die für sich selbst sprechen. Verhältnismäßig sehr einfache Verhältnisse zeigt uns der Querschnitt durch die äußere kristallinische Zone des Mont Blanc und die Zone des Briançonnais, wo eine steil aufgerichtete Falte, teilweise überkippt neben der andern steht. Wenn man die Schichten so wie sie gefaltet wurden nach oben durch sogenannte Luftsättel ergänzen würde, ergäben sich die groteskesten Faltungen und Fächerungen, die auf dem Profile wenigstens für die kristallinische Zone des Mont Blanc angedeutet sind. Schon dieser Querschnitt überzeugt uns nicht nur von der außerordentlichen Kraft der Gebirgsfaltung, sondern auch davon, daß die Alpen, dieses sehr junge Gebirge, das eben wegen seiner sehr großen Jugend noch so hoch in die Luft ragt, trotzdem eigentlich nur noch eine unbedeutende Ruine ist. Es hat ja die Abtragung durch das fließende Wasser beständig auch während der Auffaltung stattgefunden, so daß nie die Gesamtheit der hier einst aufeinander geschichteten Massen bis zu den jüngsten Sedimentlagen wirklich auch übereinander getürmt war.

Nun liegt es in der Natur der Sache, daß jedes durch Faltung entstandenes Gebirge, mag es sich auch noch so energisch gebildet haben, schon von Anbeginn seiner Aufrichtung der Wassererosion ausgesetzt war,

und zwar um so mehr, je steiler seine Hänge sich emporwölbten. Es ist deshalb jedes solches Gebirge schon von Anfang an mehr oder weniger reich modelliert und zeigt den Beginn der unaufhaltsam fortschreitenden Zerstörung an sich, d. h. mit anderen Worten: es ist von Anfang an eine Ruine.

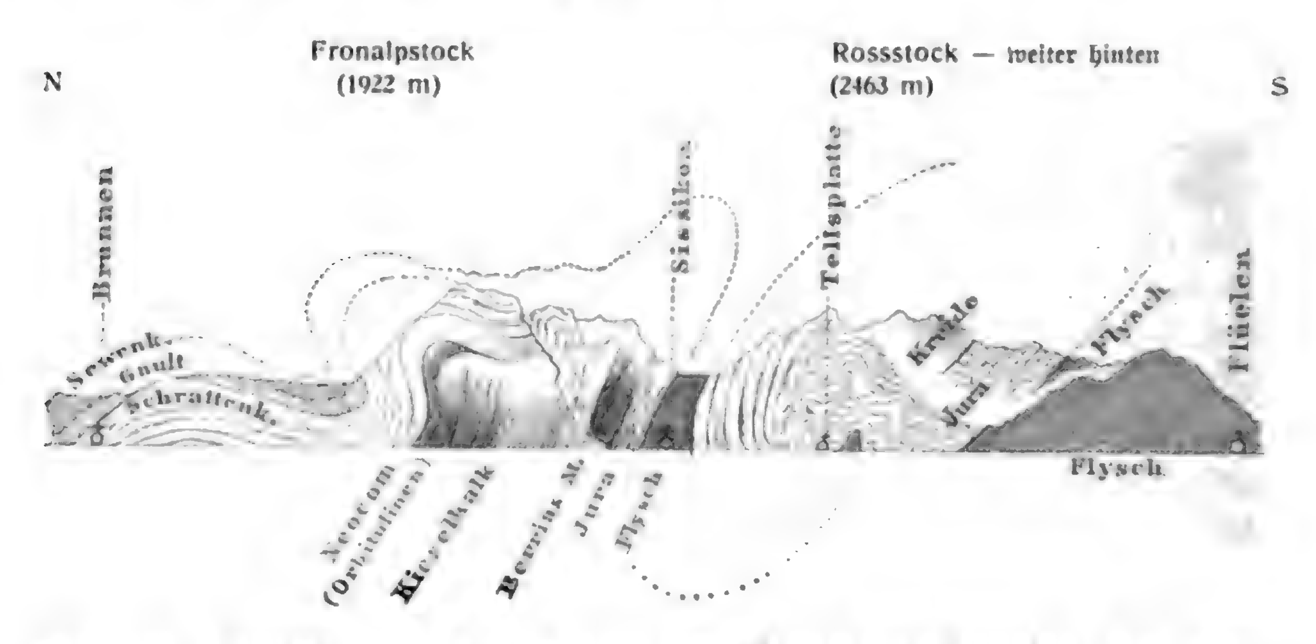


Fig. 114. Profil der Axenstraße am Vierwaldstättersee mit starkgefalteten Kreideschichten und einem ausgequetschten, hakenförmig gekrümmten Schenkel von eocänem Flysch dazwischen. Jedem, der mit offenen Augen auf dem Dampfschiffe von Brunnen nach Flüelen fuhr, sind diese überaus kompliziert gefalteten Kreideberge an den vom Gletschereis abgeschliffenen Wänden an der Axenstraße aufgefallen. Besonders schön sind die Fältelungen an den Wänden um die Tellskapelle herum zu sehen. (Nach Fraas.)

Wir können heute nicht mehr genau beurteilen, wie viel von den Alpen schon abgetragen ist, da wir nur sehr unvollständig über die Mächtigkeit der übereinander getürmten Sedimentdecken unterrichtet sind; doch das wenigstens wissen wir mit aller nur zu wünschenden Sicherheit, daß mindestens drei Viertel derselben durch die unablässig vor sich gehende Verwitterung und Erosion abgetragen sind, daß das, was heute noch hier steht, so gewaltig die Berge auch scheinen mögen, nur ganz unbedeutende, ja geradezu verschwindende Reste dessen sind, was hier einst, zur Miocänzeit besonders, aufeinander getürmt wurde. Wo nach dem unzweideutigen Verlaufe der Falten himmelhohe Berge stehen sollten, da finden wir nichts mehr als steil aufgerichtete niedere Postamente, von denen allenthalben die kühnsten Luftsättel nicht nur Hunderte, sondern oft Tausende von Metern aufwärts schießen und in Gedanken

Digitized by Google

sich rekonstruieren lassen, sobald wir die Zusammensetzung und den Aufbau des Gebirges genau kennen.

Nun sind die Geologen mit unermüdlichem Fleiße besonders in den Alpen an der Arbeit, um den Gebirgsbau ganz genau kennen zu lernen. Und wahrhaftig, der Aufbau dieses Gebirges ist ein so komplizierter und stellt an den Spürsinn und die Kombinationsgabe seiner Erforscher so außerordentlich hohe Anforderungen, daß noch verschiedene Generationen genügend zu tun haben, um alle die noch strittigen, weil unklaren Probleme auch nur annähernd zu lösen. Unermüdlich steigen sie an den halsbrecherischen Hängen herum, studieren alle Verhältnisse möglichst genau, suchen nach Versteinerungen, die über das Alter der betreffenden Schichten Aufschluß zu geben vermöchten, kurz, sind ihrem Wahlspruche „Mente et malleo" getreu mit dem überlegenden Verstande und dem Hammer überall tätig und haben auch schon die überraschendsten Entdeckungen gemacht, die allerdings kaum je über ihre Zunft hinausgekommen sind. Von diesen soll einiges im folgenden mitgeteilt werden.

Ein besonders guter Prüfstein und zugleich ein äußerst förderndes Hilfsmittel zur genauen Kenntnis des Gebirgsbaues waren namentlich auch die großen Tunnelbohrungen der letzten Jahrzehnte, die manche Überraschung brachten. Zumal die 20 km lange Tunnelbohrung durch den Simplon hat eine solche Fülle der verwickeltsten Faltungen in diesem Massive der Zentralalpen, welches man bis jetzt verhältnismäßig einfach gebaut wähnte, zutage gefördert, daß wir immer mehr einsehen lernen, daß die Alpenfaltung und alle ihr analoge Gebirgsbildung, die wir überall auf der Erde auftreten sehen, die ungeheuerlichsten Dislokationen oder Verschiebungen an den von ihr bewegten Massen der Erdrinde vollzogen hat.

Ein Blick auf das erste der hier wiedergegebenen Profile zeigt uns den Aufbau des Simplontunnels nach den Ergebnissen der eingehenden Forschungen an diesem Berge während und nach der Tunnelbohrung durch den wohl besten Kenner dieser Verhältnisse, den hervorragenden Geologen Professor Karl Schmidt in Basel, der die Liebenswürdigkeit hatte, uns dieses wichtige Material zur Veröffentlichung zu überlassen. Das zweite jedoch zeigt uns als Ergänzung des ersten den ganzen Berg, wie er einst bestanden haben muß, rekonstruiert. Dabei ist natürlich die Abgrenzung nach oben eine vollkommen unbestimmte, da wir keinerlei Anhaltspunkte mehr dafür haben, was alles darauf gelegen hat. Nur das wissen wir, daß es jedenfalls noch

sehr viel war und zwar ein Mehrfaches des heutigen Berges, das ja im vollsten Sinne des Wortes bloß eine klägliche Ruine des einst hier Vorhandenen darstellt.

Durch die Aufschlüsse während der Tunnelbohrung ergab sich die nicht zu leugnende Tatsache, daß der wirkliche Aufbau des Berges durchaus verschieden von demjenigen war, den man vor dem Baue des Tunnels infolge sehr ungenügender Vorstudien mutmaßte. Die Zeit war damals viel zu kurz bemessen, um die geologischen Verhältnisse

Geologisches Profil längs der Axe des Simplontunnels.

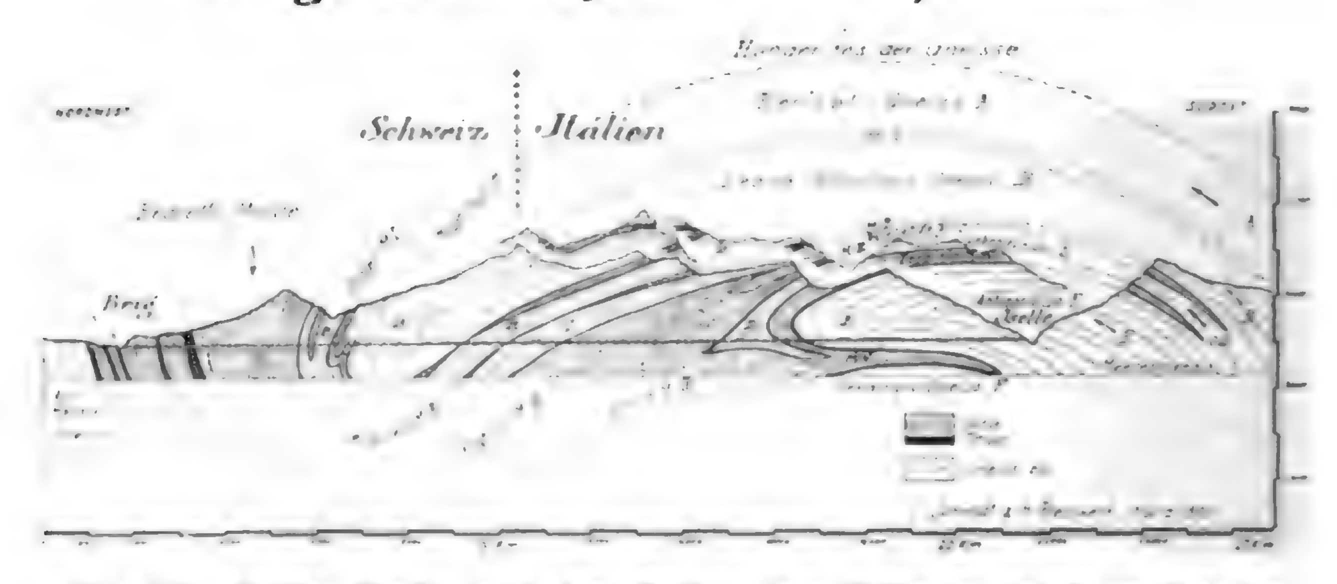


Fig. 115. Dieses Profil zeigt den Aufbau des Gebirges, durch welches der Simplontunnel getrieben wurde, nach den bis heute bekannt gewordenen geologischen Aufschlüssen. (Nach Prof. Karl Schmidt und seinem Assistenten Dr. Heinrich Preiswerk.)

des Berges gründlich zu studieren, und so begnügte man sich eben, weil man sich auf die bis dahin angenommenen Verhältnisse stützen zu können glaubte, mit einer annähernden Feststellung der verschiedenen ihn zusammensetzenden Gesteinsschichten.

Die Vermutungen der leitenden Geologen wurden aber im Laufe der Bohrung je länger, je mehr getäuscht. Statt der in guten Treuen angenommenen einfachen Verhältnisse, daß eben infolge des von Süden her vor sich gegangenen Zusammenschubes der Massen einige nach Norden überkippte Falten vorhanden wären, fanden sich in diesem Bergmassive tatsächlich die merkwürdigsten Anhäufungen und teilweise Verschlingungen derselben, etwa sechsmal mehr als man zuvor angenommen hatte. Ihre Auseinanderrollung zeigt, daß dieses Gebiet eine fünfzehnfache Zusammenschiebung erfahren hat, d. h. daß die Schichten, die

darin einbezogen sind, flach auseinandergebreitet 15mal mehr Raum einnehmen als heute. Nicht nur sind darin durch Druck hochgradig veränderte mesozoische Schichten auf die eigentümlichste Weise durcheinandergeschlungen, in nach Norden überhängende Falten zwischen den Gneisen eingelagert, sondern diese letzteren sind auch noch über die unendlich viel jüngeren mesozoischen Schiefer hinübergefaltet. Was für Kräfte müssen hier durch Millionen von Jahren hindurch an der Arbeit gewesen sein, um solche Umstürzungen in unmerklich sanftem, langsamem Schube zu bewirken!

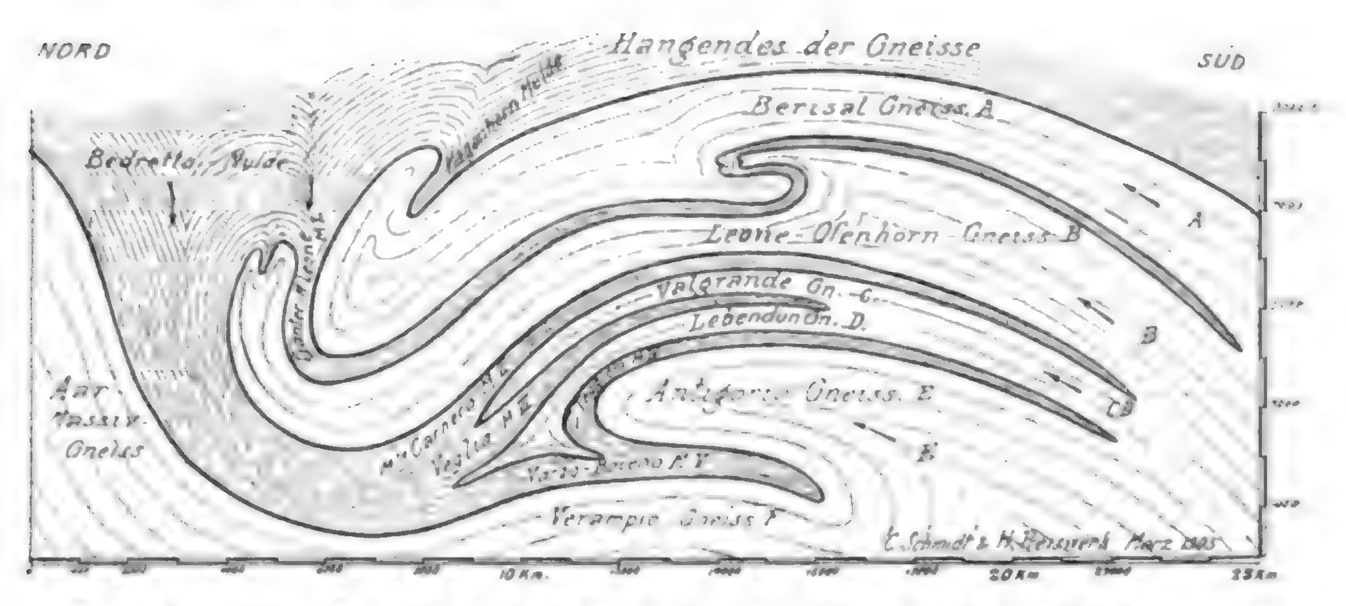


Fig. 116. Rekonstruktion des Simplonmassivs in der Richtung der Tunnelachse vor der Abtragung des Gebirges. Es stellt die Ergänzung des vorhergehenden Profils dar und zeigt uns den komplizierten Aufbau nach den eingehenden Untersuchungen des Baseler Geologen Prof. Karl Schmidt.

Der Simplon ist aber nur ein kleiner Ausschnitt aus der Südzone der Alpen, die uns noch ganz andere, wahrhaft gigantische Bewegungen der Erdrinde in mehreren tausend Metern Mächtigkeit offenbaren. Ein eingehendes Studium der äußerst lehrreichen, von demselben Autor stammenden farbigen Profile durch die Penninischen Alpen im Süden der Schweiz zeigt uns, daß die härtesten Stücke der Erdrinde wie weicher Ton geknetet, gerollt, überbogen und zurückgeschlagen wurden. Wenn wir die gestrichelte Linie und die Richtung der Pfeile, die uns die Richtung der herumgeworfenen Schichten anzeigen, genauer verfolgen, so sehen wir mit Staunen, daß dieselben Schichten Dutzende von Kilometern im Innern der Berge nach Süden, woher sie kamen, zurücklaufen und in den abenteuerlichsten Abknickungen gestaucht wurden. So sehen wir in Figur 2, die noch die verhältnismäßig einfachsten Verhältnisse aufweist,

violett angegebene Trias- und Permschichten, teilweise vollständig ausgequetscht und ihren Zusammenhang verlierend, in einer sehr breiten, aber äußerst dünn ausgezogenen Falte nördlich von Borgosesia in Italien bis weit ins Wallis hinein gegen die Belatola sich winden, um dann unter dem Rothorn und Matterhorn hindurch über das Monte Rosa-Gewölbe in die Alagnamulde hineingequetscht wieder bis Balmuccia in der Zone von Ivrea hinabzutauchen, von da an wieder nach Norden umbiegen und am Fuße des Matterhorns und des Rothorns oberflächlicher als vorher gegen das Rhonetal zurückstreichen. Denselben komplizierten Gang der Falten zeigen natürlich auch die darüber liegenden dunkler und heller blau angegebenen älteren und jüngeren Juraschichten, soweit sie noch erhalten sind und bei der Zerrung und Streckung der Schichten nicht ganz ausgequetscht wurden.

Noch viel verwickelter ist dieselbe Falte weiter westlich ausgebildet, wie wir aus Figur 3 ersehen. Da erblicken wir dieselben Trias- und Permschichten aus den lombardischen Kalkalpen in hohem Luftsattel über den Lago Maggiore sich erheben, vor dem Eyenhorn eine schmale Mulde bilden, dann in zahlreichen nur leicht angedeuteten Falten, von deren einstigem, jedenfalls höchst verwickeltem Verlaufe wir keine Ahnung haben, sich über die ganze Kette der Südalpen bis gegen die Zone vom Großen St. Bernhard erheben, um dann, zurückgebogen, unter den Mont Blanc de Cheillon unterzutauchen, tief unter der Dent Blanchemasse zu verlaufen, am Fuße des Weißhorns, an den Abhängen des Nicolaitales wieder herauszustreben und in zahlreiche überkippte und gequetschte Mulden eingebogen in die Zone von Ivrea nach Süden zurückzukehren. Von da erheben sie sich wiederum und streben in derselben Weise, wie sie nach Süden gefaltet wurden, nach Norden, tauchen tiefer als zuvor unter die Zermatt- und Zinal-Randamulde hinab, um nördlich von der Zone des Großen St. Bernhard in den mannigfaltigsten Umbiegungen in nach Norden überliegenden Falten noch über das Mont Blancmassiv in die Chamounixmulde und von da bald in große Tiefe verschwindend im Westen unterzutauchen.

Noch unendlich verwickelter ist der Verlauf derselben Falte weiter im Osten, östlicher noch als Fig. 2 verläuft. Da sehen wir in Fig. 1 weit im Süden dieselben Trias- und Permschichten aus der lombardischen Tiefebene hervorbrechen, in ganz unbekannten Windungen 4, 5 ja vielleicht noch mehr km hoch durch die Luft sich winden. Da alle diese Falten vollkommen abgetragen sind, können wir uns von ihrem einstigen Verlaufe keine Rechenschaft mehr geben. Dann wenden sie sich wieder

nach Süden und werden in ihrem Verlaufe auf die mannigfaltigste Weise ausgequetscht und in Falten gelegt. Dann geht es wieder in denselben Windungen nach Norden, bald in tiefe Mulden eingepreßt, bald in hohen Luftsätteln sich erhebend. Am stärksten eingefaltet sind sie dem ganzen Südabhange der Walliseralpen entlang in der mächtigen, viel Dutzende von Kilometern zu verfolgenden Alagnamulde, aus der allerdings die ältesten mesozoischen Schichten vollkommen ausgequetscht wurden. Aber in den Mulden beim Sonnighorn und Zwischenbergen sind sie wieder nachzuweisen.

Von da erheben sich diese Schichten in gewaltigem Bogen, um abermals mehrfach zurückgequetscht zu werden. Beim Gibelhorn sammeln sie sich wieder, bilden dort eine Mulde und verlaufen unter dem Bartelhorn abermals in allerlei Schlangenlinien nach Süden, treten dann wieder denselben Weg nach Norden an, überschlagen in hohem Bogen die Gantergneise, um unter die Bedrettomulde zu verschwinden, dann wiederum in immer kürzer werdenden, nach Süden überkippten, hochgradig ausgequetschten Falten, die mit II, III und IV bezeichnet sind, im Süden des Simplonmassivs herumzufahren in verschiedenen Stauchungen nördlich vom Piz Teggiolo hinabzutauchen, beim Rappental wieder zu erscheinen, in hohem Luftsattel über das Gotthardmassiv sich zu schwingen, in einer Mulde bei Ulrichen unter der Rhone zu verschwinden und endlich in kühnem Bogen nach Norden weiter zu ziehen. Dieses Hin- und Herwinden der Schichten oberhalb des Piz Teggiolo führt uns direkt zu den Verhältnissen, wie wir sie beim Simplon kennen gelernt haben. Und tatsächlich sind es dieselben Falten; denn wir befinden uns ja an dieser Stelle in nächster Nähe des Simplongebietes.

Nachdem wir nun mit den gebirgsbildenden Kräften einigermaßen bekannt geworden sind, werden wir wohl nicht sehr erstaunt sein, von den Geologen als vollkommen erwiesene Tatsache zu vernehmen, daß eine ganze Anzahl, nämlich etwa acht gewaltige Erdschollen, eine jede von vielen hunderten qkm Oberfläche, bei der Alpenfaltung im Miocän aus dem Süden nach dem Norden übereinandergeschoben wurden. Es ist also Erdreich aus Norditalien, das große Gebiete der mittleren Schweiz, aber auch von Savoien und Tirol, bedeckt. Man kann es kaum glauben, wenn man so überaus unerwartete, ja geradezu unmöglich erscheinende Geschichten erzählt bekommt. Und doch sind es keine phantastischen Vermutungen oder allzukühne Hypothesen, sondern die realste Wirklichkeit, Tatsachen, die sich absolut sicher nachweisen lassen.

Schon seit einigen Jahrzehnten hat man gewußt, daß kleinere und größere Teile der Voralpen, vom Nordufer der Arve in Savoien bis gegen das Rheintal, sich als vollkommen fremdartige Elemente präsentieren, von denen man allerdings nicht sagen konnte, woher sie stammten und was sie bedeuteten. Es waren teils kleinere, nur einzelne Berge umfassende Stücke, die man als Klippen bezeichnete, weil sie, wie solche aus dem Meere ragen, ganz fremdartig und isoliert in der betreffenden Gegend lagen, teils, wie im Chablais in Savoien, zwischen Arve und Genfersee, und in der Gesamtheit der Freiburger Alpen, größere Bezirke, die man Decken nannte. Es sind dies Ausdrücke, welche von den Geologen der Karpathen herrühren, wo noch vor den schweizerischen ähnliche solche Verhältnisse konstatiert wurden.

Solche Klippen und Decken, welch letztere von den welschen Geologen mit einem französischen Ausdrucke als nappes bezeichnet werden, sind vor allem dadurch gekennzeichnet, daß sie vollkommen wurzellos, ohne irgendwelcher Verbindung mit dem Untergrunde, auf dem sie liegen, auf stark durch Druckmetamorphose verändertem eocänem Flysche ruhen, „schwimmen", wie sich die Geologen mit Vorliebe ausdrücken, um diese fremde Herkunft, die Klippenatur, möglichst deutlich zu betonen. Sie bestehen selbst aus meist stark gefalteten mesozoischen Schichten, die Spuren von starker Pressung, von Brüchen und Rutschungen, in Verbindung mit stellenweise starkem Auseinandergezerrtwordensein zeigen. Aber diese mesozoischen Schichten, hauptsächlich der Jura- und Kreideformation angehörend, sind ganz anders entwickelt als in den autochthonen Bezirken nördlich der Alpen. Der Lias, der in den Nordalpen nur in geringer Mächtigkeit und als Produkt eines seichten Meeres entwickelt ist, zeigt sich in den Klippen und Decken viel stärker ausgebildet und ruht als ein unzweideutiges Tiefseeprodukt in mindestens 150 m Mächtigkeit direkt auf dem triasischen Rhät. Seine Herkunft aus dem Süden, die schon dadurch sich kund tut, manifestiert sich noch viel deutlicher, wenn wir die allerdings höchst spärlich in ihm erkennbaren, weil durch die die enorme Gebirgspressung begleitende Dynamometamorphose hochgradig zerstörten Versteinerungen näher betrachten. Diese weisen weitgehende Analogien mit südalpinen, mediterranen Formen und keineswegs mit denen der gleichalterigen helvetischen Facies auf. Dann ist auch der Malm in diesen exotischen Gebirgsteilen nicht schwärzlich, infolge reicher organischer Beimengungen, wobei er grau anwittert, wie er als sogenannten Hochgebirgskalk den nord- und mittelalpinen Malm zusammensetzt, sondern mehr weiß, wie er auf der Südseite der Alpen ausgebildet ist.

Gewöhnlich liegen in den Klippen und Decken die wurzellos auf eocänem Flysch schwimmenden Massen in regelrechter Lagerung, indem sich das Älteste zu unterst und das Jüngste zu oberst befindet. Zur Seltenheit trifft man aber auch umgekehrte Verhältnisse, indem gerade die jüngeren Sedimente auf den älteren liegen. Ein solches Beispiel einer durch Fallen auf den Kopf umgestürzten, allerdings sehr unbedeutenden Klippe ist der in der beigefügten Fig. 117 dargestellte Roggenstock im Kanton Schwyz. Hier finden wir auf eocänem Flysch, der über

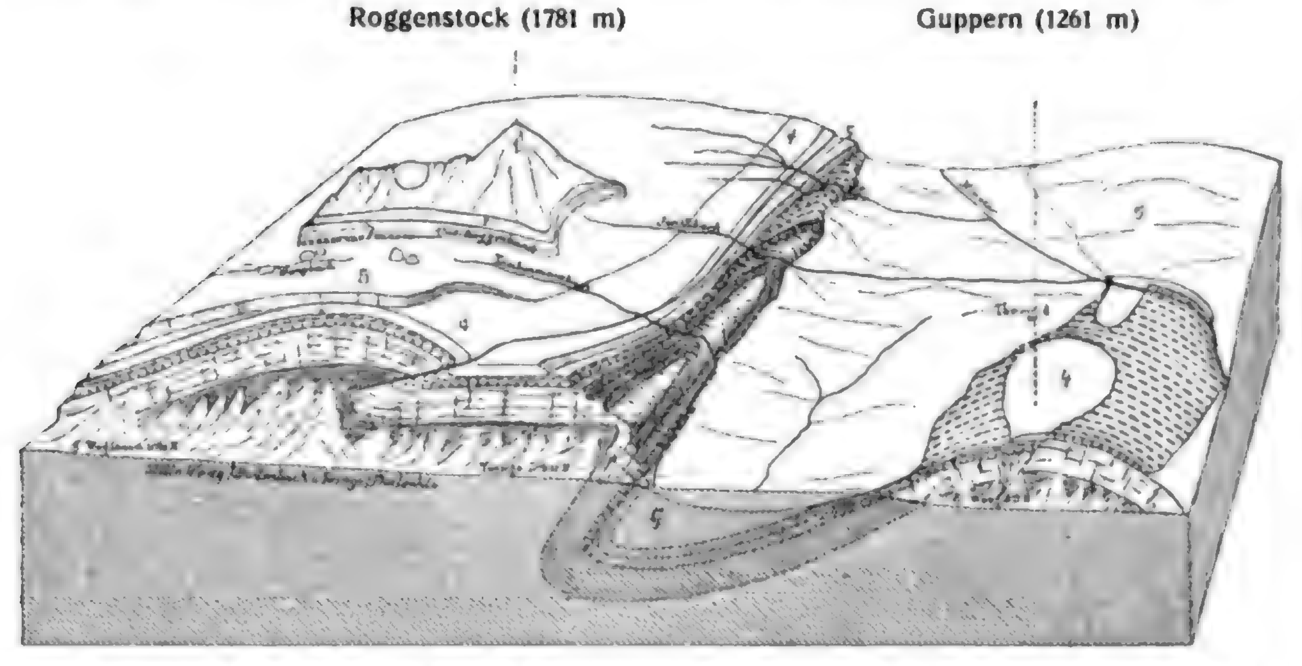


Fig. 117. Die Klippe des Roggenstocks zwischen Schwyz und Einsiedeln. (Nach Quereau.) Auf gefalteten Kreide- (4) und Eocänschichten (5) liegt wurzellos als letzter noch vorhandener Rest der jüngsten Decke diese Klippe, in welcher das Aeltere, die Trias (1 und 2), über dem Jüngeren, dem Jura (3), liegt. Bei der Ueberschiebung ist also die Decke umgekippt.

Kreide lagert, zu unterst eine Schicht Jura und darüber eine mächtige Triasmasse, die den eigentlichen Berg bildet.

Eine ebensolche etwas größere Klippe, die nur schräg gestellt und nicht durch Überstürzung umgekippt ist, sind die beiden Mythen bei Schwyz, die ebenfalls vollkommen wurzellos auf Eocän ruhen und nach Süden geneigt sind. So besteht die nördliche kleine Mythe aus Riffkalk der Trias, der südlich folgende Sattel ist in weichere Liasschichten eingeschnitten, über welchen Dogger und Malm und darüber, als Hauptmasse der großen Mythe, rötlich gefärbte Tiefseebildungen der Kreide mit mikroskopisch deutlich erkennbaren, darin eingestreuten Radiolarien liegen.

Digitized by Google

Alle diese Klippen der Mittelschweiz, deren wir außer diesen die Gyswylerstöcke zwischen Brünig und Pilatus und noch zahlreiche andere anführen könnten, sind nur unbedeutende Relikte, d. h. von der Erosion verschont gebliebene Überreste von Decken, die in zusammenhängenden Schichten, wie ihr Name schon andeutet, einst große Gebiete überzogen. Und zwar sind es die Überbleibsel einer obersten Decke, welche die Klippen bilden. Darunter lagen teilweise noch eine ganze Anzahl anderer Decken, welche in ihrer Gesamtheit die helvetischen Kalkalpen bilden.

Durch die eingehenden Untersuchungen verschiedener Geologen der französischen Schweiz, an deren Spitze Professor Maurice Lugeon in Lausanne zu nennen ist, der die Güte hatte, uns seine Profile zur Verfügung zu stellen, ist im Laufe der letzten Jahre mit immer größerer Sicherheit herausgefunden worden, daß die Erscheinung der Überschiebungen in Form von Decken, durch deren Zerstörung schließlich nur einzelne Klippen übrig blieben, keine vereinzelte, nur etwa die Schweiz betreffende Erscheinung ist, sondern sich, wie in den Karpathen, so noch in viel größerer Ausdehnung durch die nördlichen Alpen von der Provence bis nach Salzburg nachweisen läßt. Und zwar sind es über ein halbes Dutzend, speziell in den westlichen Schweizeralpen im Gebiete zwischen den Massiven des Mont Blanc und des Finsteraarhorns, welches daraufhin am besten erforscht ist, nach Lugeon nicht weniger als acht Decken, die nacheinander wie hintereinander her brandende Wogen vom Südabhange der Alpen über eine Distanz von durchschnittlich etwa 80 km über die Zentralzone noch Norden hinübergeschoben wurden und nun übereinander zu liegen kamen.

Wie diese einzelnen Decken über einander ruhen, das zeigt uns der in Fig. 118 dargestellte schematische Durchschnitt durch den Nordabfall der Alpen und zwar der Berneralpen und der nördlich davon gelegenen Voralpen. Ein Blick auf dieses Profil, in welchem die Ergebnisse vieljähriger eingehender geologischer Studien dieser Gebiete niedergelegt sind, zeigt uns zunächst, daß die wegen ihrer Höhe und schönen Formen von der ganzen Welt bewunderten Berneralpen, deren heutige Erhebung durch die schraffierten unteren Flächen angegeben ist, eigentlich nur ganz unbedeutende Ueberreste des einst über einander emporgetürmten Alpenkörpers sind. Die heutigen Gipfel vier- bis fünfmal aufeinander gelegt, ergäben uns erst die einstige Höhe des theoretisch einmal vorhandenen Gebirges. Alles hier fehlende ist vom Miocän an durch Abtragung vermittels des fließenden Wassers weggeschaft worden.

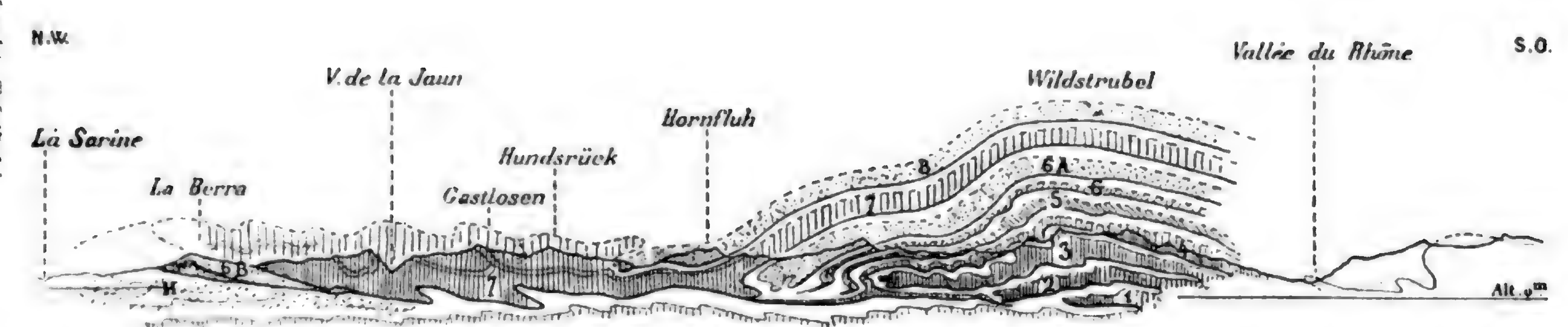


Fig. 118. Schematischer Durchschnitt durch den Nordabfall der Berneralpen und die davor gelagerten Voralpen. 1 Die liegende Falte der Dent de Morcles, 2 Decke der Diablerets, 3 Decke des Mont Gond-Wildhorn — sie entspricht dem oberen Schenkel der Glarner Doppelfalte Heims —, 4 untere Decke der inneren Zone, 5 und 6 übrige Decken der inneren Zone, 6A vermutlich selbständige Decke des Flysches vom Niesen, 6B äußere Zone, durch einen besonderen Flysch gebildet, der die höchst wahrscheinlich von der inneren Zone abgerissenen Splitter und Blöcke enthält, 7 Decke der mittleren Voralpen, 8 Decke der Brèche, M Molasse, deren Eindringen nach Süden unter die über sie abgelagerten Decken unbekannt ist. Jedenfalls muß sie aber sehr tief darunterliegen. Die Doppellinie in den mittleren Voralpen gibt den Verlauf des Malms an. Der zwischen den einzelnen Decken freigelassene Raum dient nur dazu, das Ablesen des Verlaufes derselben zu erleichtern. Alle Gesteine sind bis auf das dunkel Schraffierte durch die Erosion abgetragen worden. Der höchste Gipfel dieses Profils ist der zwischen Altels und Wildhorn gelegene 3258 m hohe Wildstrubel nördlich von Siders im Rhonetal. Der Berg la Berra in den Freiburger Voralpen — 15 km südlich von Freiburg im Üchtland —, mit welchem das Profil links abschließt, ist immerhin noch 1723 m hoch. Der Längen- und Höhenmaßstab ist derselbe. (Nach Prof. Maurice Lugeon.)

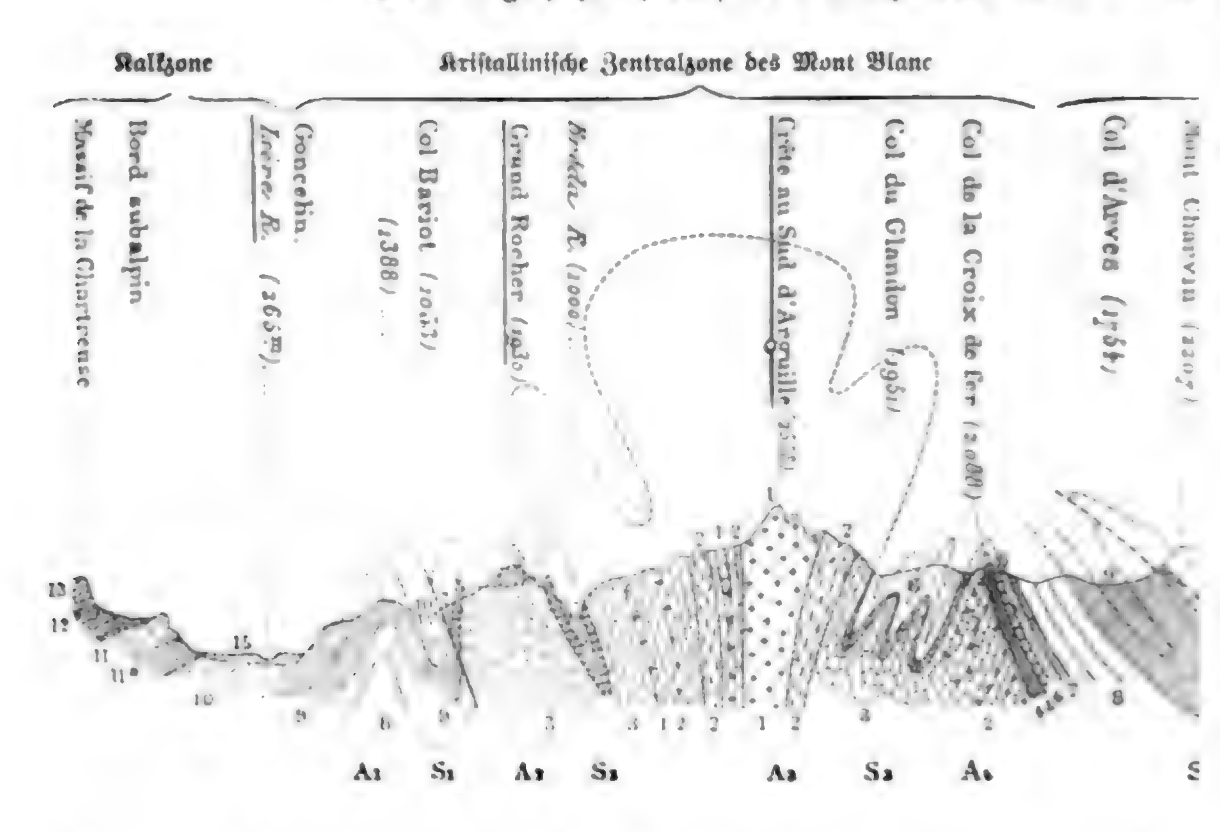
Nirgends in diesem Gebiet ist der autochthone Boden, der ursprünglich vorhandene Untergrund, zu erkennen; denn er steckt in unbekannter, jedenfalls einige Kilometer umfassender Tiefe. Über ihm ruht, unserem Studium allein zugänglich, eine mächtige Decke ortsfremden Gesteins über der andern, die, wie gesagt, vom Südabfall der Alpen, aus Italien her, und zwar höchst wahrscheinlich aus der Zone von Ivrea und deren angrenzenden Gebieten (s. das bereits besprochene farbige geologische Profil durch die Penninischen Alpen) nach Norden geschoben wurden.

Wie solche Decken sich bilden können, ist sehr wohl begreiflich. Schon Fig. 117 zeigt uns herwärts der Roggenstockklippe im Durchschnitt der oberflächlichsten Schichten des gefalteten Bodens vorn links das Anfangsstadium einer solchen Überschiebung. Weitere solche Beispiele bieten uns die Profile des Faltenjuras, wo wir im untersten bei Thierstein, im mittleren bei Roggenfluh, Farisberg, Horn und am Bötschel, im obersten endlich bei Dielenberg ähnliche Verhältnisse finden. In allen diesen Fällen ist die von Süden nach Norden durch verkürzenden Zusammenschub aufgewölbte Falte an dem am meisten der Zerrung ausgesetzten nördlichen Schenkel ganz dünn ausgezogen worden und dann zerrissen.

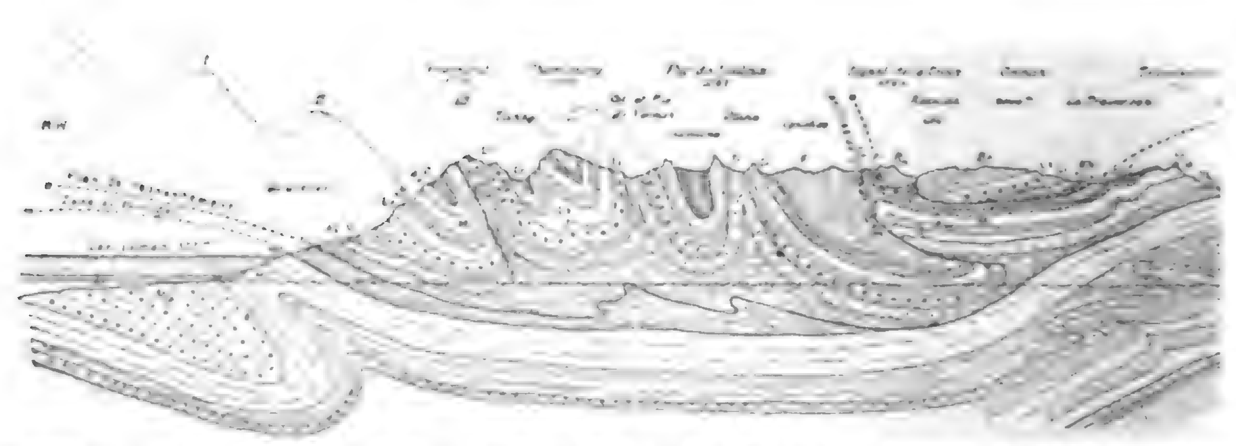
Ist einmal der trennende Riß da und geht der Zusammenschub weiter, so bilden sich keine neuen Falten mehr, sondern die aus dem Zusammenhang gerissenen Blätter legen sich einfach übereinander, so daß der in der Richtung des Schubes gelegene, also in diesem Falle südliche Schenkel sich über den ruhig liegen bleibenden und sich nicht weiter faltenden nördlichen Schenkel hinüberschiebt. Bei fortschreitender starker Schrumpfung des betreffenden Stückes Erdrinde kann sich dieser Vorgang der Überdehnung, der Schleppung und des schließlichen Abreißens des am meisten der Zerrung ausgesetzten Schenkels, also des Nordschenkels, wenn der Druck von Süden her kommt, mit nachfolgender deckenförmiger Überschiebung beliebige Male wiederholen, bis die angestrebte Verkürzung wirklich eingetreten ist und infolgedessen die Gebirge bildenden Kräfte ihre Tätigkeit einstellen.

So sehen wir an dem schematischen Durchschnitte durch die Berner Alpen, daß sich eine solche durch Abreißen des übermäßig gedehnten Nordschenkels gebildete Decke nach der andern nach Norden vorschiebt, und zwar ist jede folgende um ein gutes Stück länger als die vorhergehende. Als vermutlich älteste und deshalb unbedeutendste Decke finden wir die liegende Falte, welche sich am Fuße der Dent de Morcles

Geologische Profile durch das Mont B



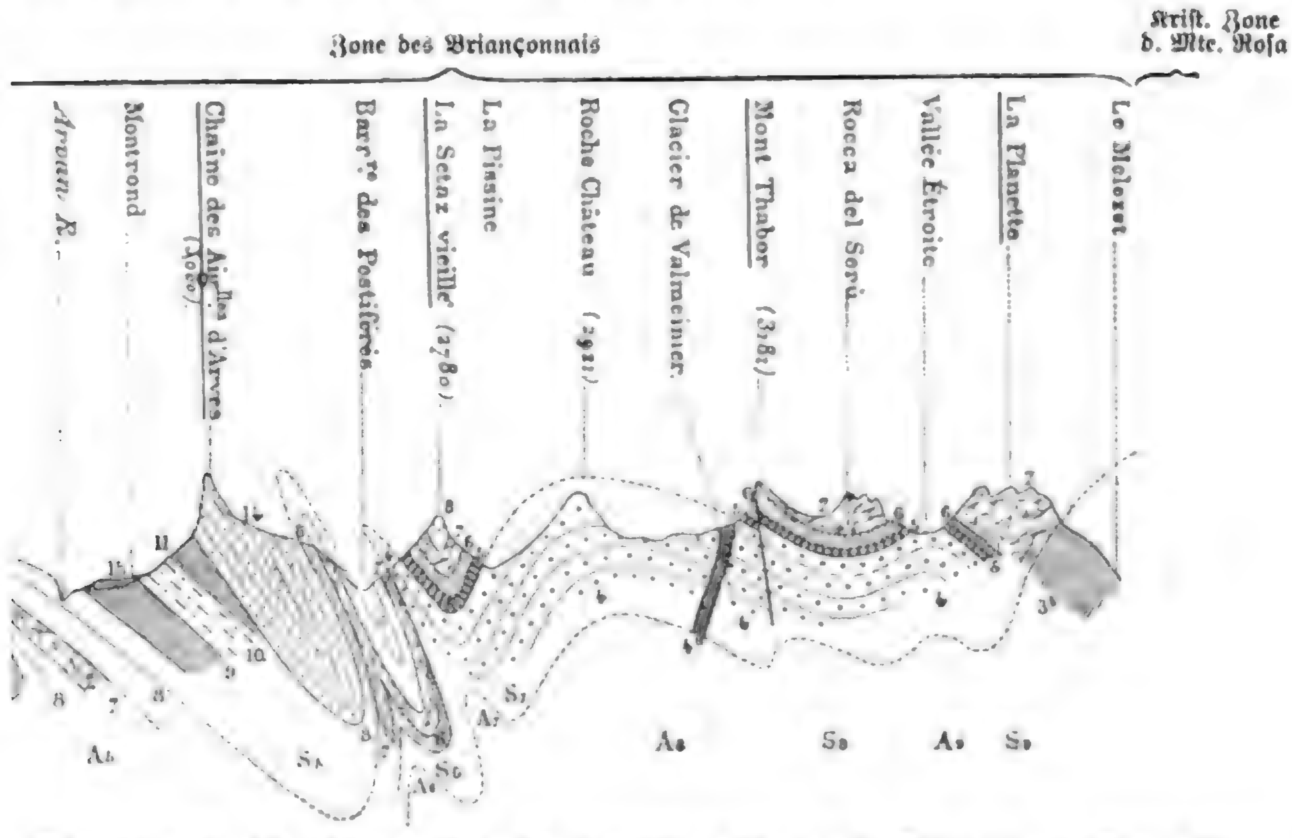
Profil I. Querschnitt durch die kristallinische Zentralzone des Mon
2 Glimmerschiefer und Amphibolit, 3 Sericit- und Glimmerschiefer, 3b metamor
der unteren Trias, 7 Kalke der mittleren Trias, 8 obere Trias, 9 Lias, 10 D
14 Eocän, 15 Glacial und Alluvium. A bezeichnet die Antiklinal



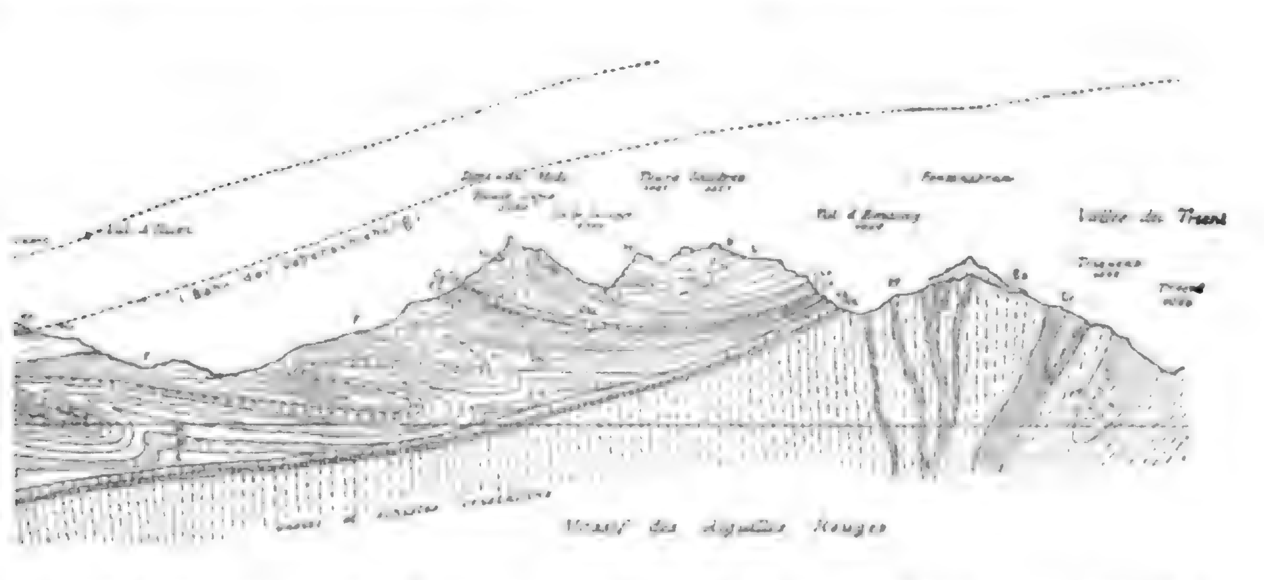
Profil II. Querschnitt durch das Chablais nahe der Schweizergrenz
veret im Norden (nach Schardt). Rechts am Massiv der Aiguilles rouges
lagernd, darüber hinweg geschoben links bis zum Genfersee eine jüngere Decke,
wurde zuletzt noch eine allerjüngste Decke — von La Traversaz bis zum Signal
Klippe bezeichnet wird. Die beiden punktierten Linien sind die Überschiebung
an den Nordabhang der

Digitized by Google

ancegebiet und das Chablais in Savoyen.



Blanc und die Zone des Briançonnais (nach Kilian). 1 Granulit,
he Schiefer der schistes lustrés, 4 Karbon, 4b Orthophyre, 5 Perm, 6 Quarzite
gger, 11a unterer Malm, 11 oberer Malm, 12 untere Kreide, 13 obere Kreide,
n oder Faltensättel, S dagegen die Synklinalen oder Faltenmulden.



e von der Vallée du Trient im Süden bis zum Genfersee bei Bou-
und an der Dent du Midi Reste einer älteren Decke auf eocänem Flysch auf-
die eigentliche Chablaisdecke, ebenfalls auf eocänem Flysch ruhend. Auf sie
de La Croix — aufgeschoben, deren heute noch vorhandener geringer Rest als
sflächen der beiden jüngsten vom Südabhange der Alpen über die Zentralzone
elben geschobenen Decken.

am Nordabhang des Wallis nachweisen läßt; darüber kommt die Decke der Diablerets, dann diejenige des Mont Gond-Wildhorn und so geht es fort, bis wir schließlich bei der 7. Decke, aus welcher die Berge der Voralpen herausgemeißelt sind, anlangen, über welche dann schließlich als 8. Decke diejenige größtenteils ausgebreitet lag, aus deren heute vollkommen aus ihrem Zusammenhang gerissenen unbedeutenden Überresten, welche ihre Abtragung hier und dort noch übrig ließ, die vorhin besprochenen Klippen sich bildeten.

Ein Bruchstück dieser 7. und der über ihr teilweise noch erhalten gebliebenen 8. Decke zeigt uns das Profil II der Tafel mit den beiden geologischen Profilen durch die Alpen, welches uns einen Querschnitt zwar nicht der Freiburger Voralpen, aber doch der vollkommen gleichartig beschaffenen Voralpen des Chablais zwischen dem Genfersee im Norden und dem Verlaufe der bei Genf mündenden Arve im Süden zeigt. Auf demselben erblicken wir zunächst in der rechten Hälfte über dem kristallinischen, aus Gneis und alten Schiefern bestehenden Grundgebirge die normal aufeinander liegende Schichtenfolge der Perm-, Trias-, Jura-, Kreide-, Eocän- und Miocänformation in starker Faltung, über welche zu oberst von dem Fuße der Salières bis zu demjenigen der Dent du Midi der Überrest einer älteren Decke ruht.

Über dieser stark gefaltete Zone sehen wir zunächst eine jüngere, und zwar die 7. Decke vollkommen wurzellos auf eocänem Untergrunde ruhen. Es ist dies die eigentliche Chablaisdecke, die einst über den Genfersee weg bis zum Thunersee, ja noch viel weiter nach Osten zog, und aus welcher alle die hohen Berge südlich vom Genfersee bis zur Arve, wie auch alle Freiburger und Berner Voralpengipfel durch Erosion herausgewittert sind. Auf dem Profile ist auch deren Überschiebungsbahn, in welcher die weit über 1000 m mächtige Decke in der Richtung von Südosten nach Nordwesten über die Zentralalpen geschoben wurde, angegeben.

Über ihr sehen wir dann noch die Bahn der Überschiebung der 8. Decke, die heute nur noch geringe, zusammenhanglose Klippen, hier und dort zerstreut, zurückgelassen hat. Diese führt uns zur verhältnismäßig unbedeutenden Scholle, welche zwischen la Traversaz und dem Signal de la Croix, der eigentlichen Chablaisdecke als Fremdling aufruht und eine solche typische Klippe bildet.

Nicht nur in Savoien und der Westschweiz lassen sich solche in Mehrzahl eine nach der andern ganz langsam im Laufe von Millionen von Jahren über einander geschobene Decken nachweisen, sondern sie

lassen sich in derselben Weise bis weit nach Österreich hinein verfolgen. Aber hier sind sie nicht immer so regelmäßig über einander gerutscht, sondern erfuhren bei ihrem Gleiten Widerstände verschiedener Art, welche bewirkten, daß sie nicht nur in Längsspalten und Verwerfung, sondern auch in Querspalten abbrachen, wonach deren Blätter auf die mannigfaltigste Weise über- und untereinander geschoben und teilweise gestaucht wurden. Was für Verhältnisse dadurch geschaffen wurden, zeigt uns

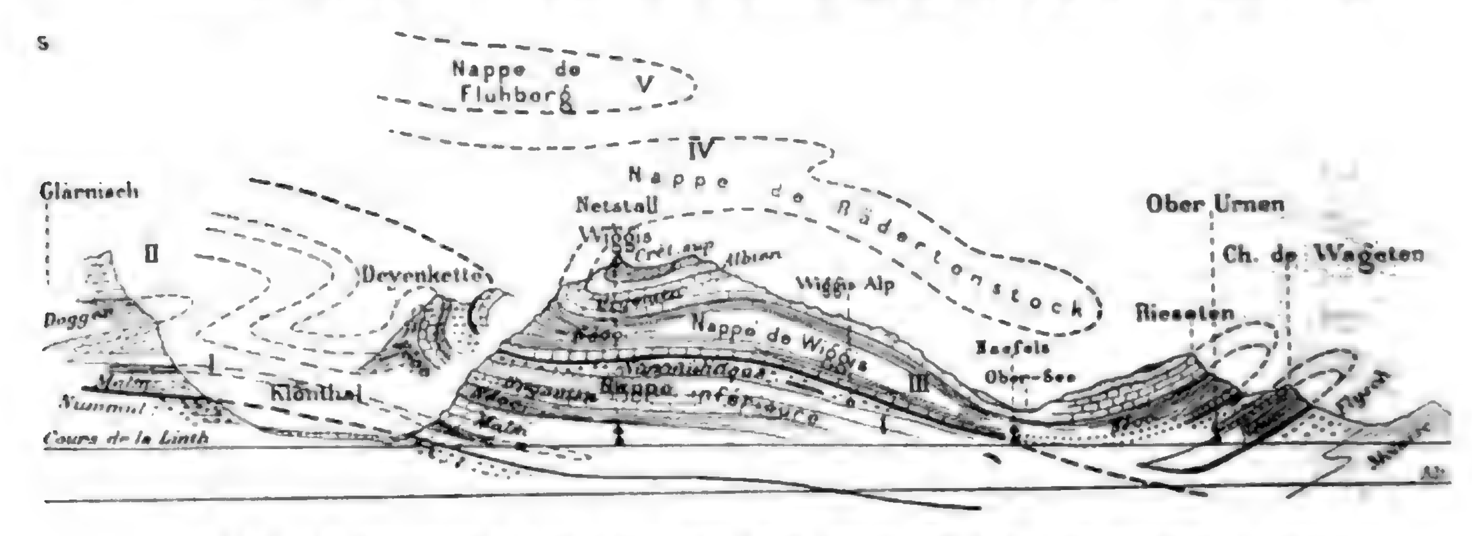


Fig. 119. Schnitt durch die obere und den äußersten Teil der unteren Glarnerdecke. Zu äußerst rechts keilt sich unabhängig zwischen beide die Wagetenkette ein: I untere Glarnerdecke, II Silberndecke, III Wiggisdecke, IV Rädertenstockdecke, V Fluhbergdecke. Die beiden letzteren sind Verzweigungen der oberen Glarnerdecke, die links von diesem Profil den oberen Teil der irrtümlicherweise von A. Heim als Glarnerdoppelfalte bezeichneten Bildung im Kanton Glarus ausmacht. Größe 1 : 100 000. (Nach M. Lugeon.)

der Durchschnitt durch den Glärnisch im Kanton Glarus in Fig. 119. Hier sehen wir Teile der 1., 2. und 3. Decke im Gebirgsbau beteiligt, während die einst darüber gelagerten Decken 4 und 5 durch die Erosion vollkommen beseitigt wurden und nur noch in der Umgebung dieses Gebietes nachweisbar sind.

Der Plan dieses Buches verbietet es uns auf geologische Einzelheiten im Aufbau der schweizerischen Alpen und Voralpen, über die noch sehr viel Interessantes zu berichten wäre, näher einzugehen. Es genüge uns, als Schlußergebnis dieser Betrachtung, klar vor Augen zu stellen, daß der ganze Nordabhang der Alpen mit allen Voralpen bis weit in das Mittelland hinein aus solchen Decken aufgebaute, ortsfremde, d. h. nicht einheimische, sondern von Süden her über die ganze Alpenkette geschobene Gesteinsmassen sind. Wie die Waadtländer-, Freiburger- und Berneralpen und Voralpen sind diejenigen der Zentral- und Ost-

schweiz gleicherweise Importware aus Italien. Die vielbesuchten Berge um den Vierwaldstädtersee: Pilatus, Stanserhorn, Bürgenstock, Urirotstock, Bauen und die Rigihochfluh, an welcher durch eine gewaltige Verwerfung der Rigikulm, der nicht mehr dazu gehört, abgesunken ist, sie alle sind Teile von Decken, wie die Windgällen, der Tödi, die Biferten- und Hausstöcke, der Glärnisch, der Schild und die übrigen Glarnerberge, dann die Churfirsten, der Alvier, die Grauen Hörner und alle übrigen Berge des südlichen Teiles des Kantons St. Gallen, mit Einschluß der Appenzeller Berge, vornehmlich des Säntis und Altmann. Von diesem letzteren Gebirge haben die vieljährigen Untersuchungen des Züricher Geologen Albert Heim unzweideutig ihre Deckennatur festgestellt. Das ganze Säntismassiv schwimmt wurzellos wie alle Decken und die daraus herausgewitterten Klippen auf eocänem Flysch und wird aus einer Schar von zwölf, aus mächtigen Kreideschichten bestehenden Falten in sechs Hauptzügen gebildet. Als vollgiltigen Beweis dafür, daß auch hier der Schub aus dem Süden kam, liegen alle diese Falten nach Norden über „wie die Wellen eines brandenden Meeres" um einen Ausdruck dieses Autors zu gebrauchen. Stets ist in ihnen der Nordschenkel der Gewölbe stark reduziert und gerade dort finden wir die auffallendsten Erzeugnisse von Dynamometamorphose in den überaus stark gepreßten Gesteinen.

Jenseits des Rheins sind Falknis, Scesaplana und der ganze übrige Räthikon, alle Berge im Norden des Kantons Graubünden, von Vorarlberg, Tirol und dem südlichen Bayern bis nach Salzburg hinein aus ebensolchen vom Süden über dem ganzen Alpenkörper in hier mindestens 100 km weitem Wege nach Norden eingewanderte Decken herausmodelliert worden. Und auf ihrem mit höchster Gewalt vor sich gegangenen Schube haben sie die mannigfachsten Längs- und Querbrüche, sowie auch Verwerfungen der verschiedensten Art erlitten, wodurch die zerstückelten Teile der einzelnen Decken auf das unglaublichste nicht nur über, sondern auch in und durch einander geschoben wurden. Hier sind die Verhältnisse teilweise so kompliziert, daß noch verschiedene Generationen von Geologen vollauf zu tun haben, um alle, ihren Scharfsinn aufs höchste anstrengenden Rätsel endgiltig zu lösen.

Diese kurze Übersicht über den heutigen Stand unseres Wissens in Betreff des Aufbaues der Alpen möge genügen. Es war unbedingt erforderlich, daß wir diesem Gebirge größere Aufmerksamkeit als einem andern solchen schenkten; denn nicht nur sind sie das für uns nächste Faltengebirge, sondern auch dasjenige, das weitaus am eingehendsten

von allen erforscht und aufgeklärt ist. Wie die Alpen, so sind die Pyrenäen, die Karpathen, der Kaukasus, der Himalaja, die Anden, das Felsengebirge und alle übrigen hohen Kettengebirge wesentlich erst zur Miocänzeit aufgetürmt worden. Weil sie eben alle noch recht jung sind, erheben sie sich heute noch zu solcher Höhe. Aber trotz ihrer relativen Jugend hat die Verwitterung und Abtragung durch das fließende Wasser im Laufe der mehreren Millionen Jahre, während welcher sie diesen Ein-

Fig. 120. Der Südwestrand der Pénéplaine, d. h. der durch Abtragung eines Gebirges entstandenen Ebene von Südpalembang auf Sumatra. Im Hintergrund das Serillogebirge, im Vordergrund ein Melonenbaum und eine malaiische Vorratshütte. (Nach Photogr. v. Dr. Buxtorf.) — Eine ebensolche Pénéplaine stellt auch das Ölfeld Kampong Minjak in Fig. 90 dar, auf welchem rechts und links die steilen Schenkel und in der Mitte die flache Scheitelregion der Antiklinale noch deutlich zu erkennen sind, indem hier das Gebirge noch nicht vollkommen abgetragen wurde.

flüssen ausgesetzt waren, schon so viel von ihnen abgetragen, daß sie wohl reichlich $^3/_4$ der einst vorhandenen Masse eingebüßt haben. Und nach weiteren Millionen von Jahren werden auch sie alle gänzlich abgetragen und eingeebnet sein und man wird nur aus den steil aufgerichteten Falten ihres Untergrundes ersehen können, daß hier einst große Gebirge standen. Dafür aber werden sich natürlich andere Berge in immer stärkeren Falten emportürmen und gewaltige Ketten

Digitized by Google

bilden; denn so lange die Erde sich abkühlt, muß sie naturnotwendigerweise schrumpfen und zur Bildung von Gebirgen Veranlassung geben.

Wir kennen zahlreiche Gebiete der Erde, die heute erloschene Gebirge trugen und nun vollkommen durch die Atmosphärilien eingeebnet sind. Man nennt solche Gegenden, wo der nahezu oder ganz ebene Boden durch seinen steilen Faltenbau ein abgetragenes Gebirge verrät, mit einem französischen Ausdrucke Péneplaine, ein Wort, das von à peine une plaine, also beinahe eine Ebene herrührt. Das hier reproduzierte Bild aus Südsumatra stellt eine solche Péneplaine dar. Wir sehen nun eigentlich herzlich wenig auf einem solchen Bilde. Die Berge sind verschwunden und nur eine eintönige, von Wäldern und, wo diese abgeholzt wurden, von Grasflächen bewachsene Ebene, starrt uns entgegen. Die steilgefaltete Unterlage müssen wir uns eben hinzudenken.

Solche Péneplaines trifft man in allen Weltteilen. In Europa haben wir eine ganze Anzahl derselben, die zu den verschiedensten Erdepochen entstanden sind. Sobald eine solche wieder ins Meer versenkt wurde, lagerten sich horizontal über die eingeebnete, von starken Falten durchzogene Fläche neue Sedimentschichten ab. Eine solche Berührungsfläche in verschiedenen Ebenen zur Ablagerung gekommener Sedimente bezeichnet man als Diskordanz, im Gegensatz zur gewöhnlich vorhandenen parallelen, d. h. konkordanten Lagerung. Eventuell können nachträglich diese horizontal lagernden Sedimente auf einem ehemaligen Gebirgsgrunde aufs neue von einer Gebirgsfaltung betroffen worden sein. Für alle diese Verhältnisse lassen sich Beispiele anführen.

Eine überaus alte Péneplaine liegt im Osten Süddeutschlands. Betrachtet man z. B. einen Durchschnitt durch das bayerisch-böhmische Grenzgebirge, so bemerkt man, daß im südwestlichsten Teile desselben die ältesten Schichten, uralte und darüber jüngere Gneise, hierauf verschiedene archäische Schiefer und schließlich Tonschiefer des Cambriums, des ältesten nachweisbar fossilführenden Gesteins, auftreten. Alle diese Ablagerungen liegen regelmäßig der Reihe ihrer Bildung nach aufeinander, sind aber so stark in Falten aufgerichtet, daß man fortwährend über die steil aufgestellten Schichtköpfe hinweggeht. Es muß also dem Baue des Untergrundes nach zu urteilen, hier, wo heute ein flach welliges Bergland sich befindet, in früher Vorzeit ein gewaltiges Gebirge gestanden haben, das aber vermutlich noch vor Schluß der paläozoischen Zeit, also schon vor weit über 200 Millionen Jahren bis auf die unbedeutenden Erhebungen, die uns hier heute entgegentreten und die

nur durch nachträgliche Verwerfungen entstanden, vollkommen abgetragen wurde. Der Untergrund dieses Landes bildete einen überaus widerstandskräftigen Horst alten Landes, das seit der paläozoischen Periode nicht mehr vom Meere bedeckt wurde, also auch keine späteren Sedimente mehr aufweist.

Vermutlich etwas älter als dieses ist das schon wiederholt erwähnte variscische Gebirge, das seine vollständig eingeebnete Basis in der Bretagne zutage treten läßt. Dort sind die Synklinalen oder Mulden dieses mittelkarbonischen Gebirges vielfach noch mit damals ergossenem Granit erfüllt, welcher in gewaltigen Eruptionen in dessen Täler ergossen wurde, wobei das mit der heißen Lava in Berührung gekommene Gestein die mannigfaltigsten Kontaktmetamorphosen zeigt.

Fig. 121. Diskordanz zwischen dem steilgefalteten Silur als einem abgetragenen Gebirge und dem horizontal darüber gelagerten Devon in Ribblesdale, Nordengland. (Nach Dr. A. Tornquist.)

Noch viel älter als dieses schon in paläozoischer Zeit gänzlich erloschene variscische Gebirge ist das zur Silurzeit im Norden Europas aufgefaltete sogenannte caledonische Gebirge, das in Grönland, dem nördlichsten Teile Norwegens, von der Nordküste Schottlands über das westliche England bis nach Wales und Nordirland hinein bestanden hat. Da es nun im nördlichen Schottland, das die alten Römer als Caledonien bezeichneten, seine zentrale Ausbreitung hat, wurde ihm eben der Name caledonisches Gebirge gegeben. Schon zur Silurzeit wurde es wieder vollständig abgetragen; denn wir finden den ‚alten roten Sandstein' der darauffolgenden Devonzeit, von den Engländern kurz als old red bezeichnet, vollkommen horizontal auf dem gefalteten Silur aufgelagert. Diese Diskordanz bringt uns Fig. 121 schön zum Ausdruck.

Weitere Spuren einer uralten Gebirgsbildung finden wir auch in Finnland, wo schon im Cambrium ein Gebirge gefaltet und wieder ganz abgetragen wurde, so daß nach dem Untertauchen der betreffenden Rumpffläche ins Meer die Silurschichten in diskordanter Lagerung

Digitized by Google

auf den eingeebneten Falten dieses cambrischen Gebirges abgelagert wurden und sich darauf ungefaltet bis heute erhalten haben.

Noch älter ist das sogenannte huronische Gebirge in Nord-Canada, nach dem fast ausgestorbenen dortigen Indianerstamm der Huronen so genannt, das noch in archäischer Zeit aufgefaltet und wieder abgetragen wurde, so daß die nach einem andern benachbarten Indianerstamme als Algonkin bezeichneten aus Konglomeraten bestehenden früh-cambrischen Schichten diskordant auf diesem abgetragenen Gebirge abgelagert wurden.

Die allerältesten Spuren der Gebirgsbildung in Europa finden wir aber auf dem Boden von Rußland, wo die ältesten palöozoischen Schichten dem Cambrium angehörend, vollkommen wagrecht und ungefaltet auf noch viel älteren gefalteten archäischen Gneisen liegen.

Es hat also zu allen Zeiten der Erdgeschichte eine Gebirgsbildung gegeben. Und notwendig mußte es auch eine solche gegeben haben, da sie ja nur eine Folge der beständig vor sich gehenden Zusammenziehung der Erdrinde durch Abkühlung ist. Aber diese zeigt sich nicht in allen Erdgebieten gleicherweise; sie ist vorzugsweise an diejenigen Gebiete der Erdoberfläche geknüpft, welche loser auf der Unterlage liegen und der sie in Brüche und Falten zwingenden Kraft leichter als andere nachgeben. Daß sie noch weiter geht, beweisen, wie wir gezeigt haben, vor allem die vulkanischen Ausbrüche und Erdbeben, die in der Gegenwart noch nicht aufgehört haben, sondern andauernd sich bemerkbar machen.

In gleicher Weise beweist die in manchen Steinbrüchen zur Beobachtung gelangende horizontale Spannung der Gesteine, die eine Folge der durch tektonische Bewegungen hervorgerufenen Pressung ist, daß die Erdschrumpfung sich selbst bis in die oberflächlichsten Schichten der Erdrinde bemerkbar macht.

So hat beispielsweise Niles in Amerika beobachtet, daß große, aus dem Schichtverbande herausgenommene Steinplatten als Zeichen, daß sie unter hoher Pressung standen, eine Ausdehnung erlitten, so daß sie etwas länger waren als die Lücke im Gestein, aus der sie herausgenommen wurden. Dasselbe soll nach Neumayr auch in den Granitbrüchen von Mauthausen in Österreich der Fall gewesen sein. Nachdemselben Autor sollen in der Nähe von Chicago in den Vereinigten Staaten Nordamerikas beim Eindringen in tiefere Schichten von dort bloßliegendem Silurgestein diese sich gleich nach ihrer Bloßlegung auf einer Strecke von 244 m zu einem flachen, 18,3 cm hohen

Gewölbe von einem Durchmesser von 6,3 m ausgedehnt haben und im Scheitel desselben durch einen Längssprung gerissen sein.

Als Folgeerscheinung der fortschreitenden Abkühlung der Erde legt sich die äußerste Kruste derselben eben nicht nur in Falten, so daß Berge sich emportürmen und Vulkane an Spalten und Verwerfungen ausbrechen, sondern das ganze Oberflächenrelief ändert sich beständig, wenn sich auch die Unterschiede in der Regel uns kurzlebigen Menschen erst in längeren Zeitabschnitten, als das Leben eines einzelnen beträgt, bemerkbar machen.

Indem sich an einer Stelle der Boden langsam hebt, wird das Meer immer mehr davon verdrängt, so daß schließlich alter Meeresboden zu Festland wird, während an einer anderen Stelle umgekehrt Festland vom Ozean verschlungen und unter immer höheren Wassermassen begraben wird. So findet man auf unsern über 4000 m hohen Alpengipfeln Sedimentgesteine, die teilweise in einer Tiefsee abgelagert wurden und anderseits in England 400 m unter der Meeresoberfläche Steinkohlen, die am Lande, wo Pflanzen wuchsen, gebildet worden sein müssen.

Diese überaus langsamen Bewegungen der Erdrinde, deren Ergebnis Senkungen, Hebungen und seitliche Verschiebungen sind, die erst im Laufe von Jahrhunderten erkannt werden, tragen, so klein auch ihre Beträge sein mögen, durch ihr Summierung während der ungeheuren Zeiträume, in denen sie beständig vor sich gehen, mehr zur Umgestaltung der Erde in bezug auf die Verteilung von Wasser und Land bei, als die heftigsten Stöße der Erdbeben und die gewaltigsten Vulkanausbrüche dies zu tun vermögen. Diese wirken ja allerdings energischer, aber nur vorübergehend, und deshalb ist ihre Wirkung doch nur eine schwache im Vergleich zu jenen geringen aber unablässig an der Arbeit befindlichen Kräfte der fortschreitenden Abkühlung.

Am besten erkennen wir diese beständig durch Hebungen und Senkungen der Erdoberfläche vor sich gehenden Oberflächenveränderungen an den Meeresküsten, wo das Meer nicht nur ein selbstanzeigender Gradmesser beweglicher Art ist, sondern durch die Brandungslinie, welche es in die felsigen Küsten eingräbt, den jeweiligen Höhenstand des Meeres mit untrüglicher Sicherheit auch für vergangene Perioden der Erdgeschichte angibt. Dabei liegt es in der Natur der Sache, daß die Merkmale der Hebungen sich leichter finden lassen als Spuren der Senkungen. Letztere können überhaupt nur nachgewiesen werden, wo Bodenformen des Festlandes so untergetaucht sind, daß die durch

das fließende Wasser einst eingegrabenen Täler sich auf dem Meeresboden fortsetzen, oder wo Korallenriffe unter die Lebensgrenze riffbauender Korallen, also 40 m, hinabtauchen. Aus der Tiefenlage solcher untergetauchter Täler vermochte man beispielsweise den Schluß auf einen um 1000 m höheren Stand des östlichen Nordamerika gerade vor dem Eintritte der Eiszeit vor etwa anderthalb Millionen Jahren zu ziehen.

Fig. 122. Die drei Säulen des Serapistempels von Pozzuoli. (Nach Photogramm von Dr. K. Leuchs.)

Das berühmteste Beispiel einer Küstenschwankung durch abwechselnde Hebung und Senkung des betreffenden Landes sind die drei hohen, wohl allen Besuchern Unteritaliens bekannten **Säulen des Serapistempels bei Pozzuoli** am Golfe von Neapel (s. Fig. 122). Diese gewaltigen Monolithe sind bis zu etwa $3^1/_2$ m über dem Boden beinahe so glatt, wie sie einst bei ihrer Herstellung waren; darüber aber

Digitized by Google

erscheinen sie in einem fast 3 m breiten Gürtel angewittert und teilweise von den nur die salzige Flut des Meeres bewohnenden Bohrmuscheln angebohrt.

Der Tempel, von welchem diese Säulen als letzte Zeugen stammen, wird in der uns erhaltenen römischen Literatur im Jahre 105 vor Christus zuerst erwähnt und stand unversehrt noch 205 n. Chr. Erst mit der Einführung des Christentums scheint er in Verfall geraten zu sein. Der ihn umgebende Boden wurde dann im Verlaufe der Jahrhunderte von Schutt und vulkanischer Asche, teilweise aber auch von Süßwasserablagerungen, bis zu einer Höhe von 3½ m bedeckt. Darauf soll das ganze Bauwerk bis zu demjenigen Niveau ins Meer untergetaucht sein, welches durch die obersten Löcher der Bohrmuscheln, die sich damals mit ihren zwei Schalen in die Säulen hineinbohrten, bezeichnet wird. Sehr lange kann aber die Versenkung ins Meer nicht gedauert haben, sonst wäre der Stein viel stärker vom Salzwasser und von den in ihm lebenden Tieren angegriffen worden. Später, und zwar wie angegeben wird, um die Mitte des 16. Jahrhunderts, hob sich der Boden, auf dem der Tempel stand, wieder ziemlich rasch, und heute steht er nur noch etwa 33 cm tiefer als der Meeresspiegel. Nach der Lage der Bohrlöcher an diesen ehrwürdigen Überbleibseln des Altertums muß also hier das Meer vorübergehend 6½ m höher als heute gestanden haben. Diese große Beweglichkeit des Erdbodens hängt da zweifelsohne mit den unterirdischen in nächster Nachbarschaft gelegenen vulkanischen Kräften in engstem Zusammenhange; denn die rasche Hebung dieses Gebietes, welche ausdrücklich für die Mitte des 16. Jahrhunderts bezeugt wird, steht in direktem Zusammenhange mit den Äußerungen der vulkanischen Tätigkeit bei der Aufschüttung des Aschenberges, Monte Nuovo genannt, von dem im Abschnitte über Vulkanismus kurz die Rede war.

Gleicherweise lassen sich auch anderwärts nachträgliche Hebungen des Bodens an solchen Bohrlöchern von Pholaden oder an hängengebliebenen Schalen anderer Muscheln feststellen. So sehen wir an den Küsten nordischer Länder, von Schweden und Schottland bis Labrador, Grönland und Franz-Josefsland, sehr deutlich eine Hebung an den sogenannten **Strandlinien**, die sich oft bis tief in das Innere verfolgen lassen und als Produkte von Zeiten eines längeren Stillstandes der Hebung, infolge von Ausnagung der Küste durch das dagegen anbrandende Meer erzeugt, in verschiedenen Höhen parallel über einander hinlaufen. In größeren Fjorden Norwegens sieht man sehr deutlich das Sinken der Strandlinien von innen nach dem Meere zu als Beweis dafür, daß sich das Land

nach dem Innern zu stärker gehoben hat als an der Küste. Liegen sie innen bei 100 m, so ziehen sie außen nicht höher als 10 bis 20 m über dem Meere dahin. Man findet auf diesen Strandlinien Ablagerungen von Meeresmuscheln, die in den höchsten von 150 m einen durchaus arktischen Charakter tragen, der erkennen läßt, daß ihre Ablagerung hart am Ende der letzten Eiszeit stattgefunden hat. In Schottland findet man dagegen in 150 m voreiszeitliche Strandlinien, während die bald nach der letzten Eiszeit entstandenen nicht über 30 m hinausgehen. Daß diese Hebung immer noch andauert, beweisen ganz frisch gehobene Muschelbänke an der Ostküste von Labrador, wo beispielsweise Bohrmuscheln noch senkrecht und so frisch als seien sie erst vor wenigen Tagen abgestorben, in ihren Bohrlöchern stecken.

Fig. 123. Terrassen am Fraserfluß in Columbien an der Westküste von Britisch-Nordamerika, als Zeichen einer Hebung des Landes.

Auch in Japan finden wir Küstenterrassen in 40, 60 und 9 m Höhe über Meer, ebenso in Peru und Chile mit fortschreitender Hebung nach Süden. Aber an allen diesen Orten, wo wir heute starke Spuren von Hebungen in Strandlinien und Küstenterrassen finden, ist früher eine Senkung vorausgegangen; denn sie erscheinen besonders häufig an Fjorden, die alle nur versunkene Täler sind. Alle Fjordküsten haben einst viel höher gelegen als jetzt, und wo sie Strandlinien aufweisen, sind sie darauf bis zur Höhe dieser gesunken und haben sich neuerdings gehoben. Darauf sind teilweise wieder Senkungen eingetreten. So sind Steinriffe auf dem Küstenabfall Ost- und Westgrönlands versunkene Moränen einer Vereisung, die etwas größer war als die heutige.

Auch im Gebiete der großen Seen Nordamerikas ist es gelungen, fortdauernde Bodenveränderungen nachzuweisen, und zwar Hebungen im Norden, verbunden mit Senkungen im Süden. Bei Chicago steigt der Spiegel des Michigansees 3 cm in 10 Jahren. Die zahlreichen Strandseen am südlichen Küstenrande des Ontariosee, die nur durch schmale Nehrungen von ihm getrennt sind, führt man auf dieselbe Hebung zurück.

Digitized by Google

Senkungen dagegen sind, wie wir bereits gesehen haben, überall im Stillen Ozean da anzunehmen, wo Korallenriffe aus großen Tiefen ragen. Doch finden sich mitten in den Senkungsgebieten teilweise auch Zeugnisse für Hebungen, die aber genau wie die nordischen Strandlinien die räumliche Beschränktheit dieser Bewegungen beweisen. So trägt die aus vulkanischem Tuff bestehende Tongainsel Ena drei Riffkalkstufen in

Fig. 124. Sandsteinbänke mit Löchern von Bohrmuscheln aus dem Birket el Kurun, dem Reste des alten Möris-See in Aegypten. Da diese Mollusken ausschließlich im Meere leben und letzteres sich seit dem Beginne der Diluvialzeit durch eine geringe Hebung des Landes aus der betreffenden Gegend zurückgezogen hat, so haben wir hier eine Strandbildung aus dem Ende der Pliozänzeit vor uns. Nur in Ausnahmefällen, wenn eine spätere Schicht sie schützend zudeckte, konnten sich diese Strandfelsen erhalten. Sowie die Erosion sie freilegt und dem schroffen Temperaturwechsel der Wüste aussetzt, zerfallen sie rasch und zeigen die typische Verwitterungsform des Wüstengesteins.

150, 76 bis 107 und 2 m Höhe. Unter den Neuen Hebriden ist Efat über 700 m hoch aus Korallenkalk gebaut. Im südlichen Stillen Ozean ist, wie die australische Küste beweist, eine Senkung der heute stattfindenden Hebung vorausgegangen.

Digitized by Google

Die Ruhe, die Afrikas ganzer Bau ausspricht, waltet auch über seinen Küsten, die sich verhältnismäßig nur schwach bewegen. Aber auch hier sind allerlei Senkungen und Hebungen nachgewiesen worden. Sehr unruhig ist dagegen, wie alle Mittelmeere, das Mittelländische Meer, wo Hebungen und Senkungen einander beständig ablösen, nachdem die größten Tiefen dieses Meeres erst in pliocäner oder postpliocäner Zeit durch eine Reihe von großen Versenkungen und kesselförmigen Einbrüchen entstanden sind. Ganz abgesehen von den vulkanischen Gebieten, in denen Hebungen und Senkungen sich nicht selten verhältnismäßig rasch vollziehen und mit einander abwechseln, haben am Mittelmeer fast alle größeren Städte ihre Lage zum Meere verändert. Die Küsten Dalmatiens und Albaniens sinken sehr deutlich. An der ligurischen und südfranzösischen Küste geht eine Senkung, welche tief untergetauchte Täler bekunden, nach Westen zu in Hebung über.

Nach Friedrich Ratzel sind im Tyrrhenischen Meere die pontinischen Sümpfe Meeresbucht, Lagune und See gewesen, der durch Hebung verschwand, dann durch Senkung wieder zum Sumpf wurde. Weiter im Süden gehen sie in Hebungen über. In Süditalien dauern Hebungen fort, die in der Pliocänzeit begonnen haben und deren oberste Terrassen 1300 m Höhe erreichen. An der Küste Siziliens sind die Beweise für Hebung besonders zahlreich. Am Monte Grifone befindet sich beispielsweise eine Höhle 67 m über Meer, in der man Spuren von Bohrmuscheln sieht. Der Monte Pellegrino bei Palermo ist eine erst in pleistocäner Zeit fest gewordene Insel. Die alten Häfen von Palermo, Selinunt und Trapani sind versandet. Die Küste von Milazzo zeigt Spuren von Hebung, ebenso diejenige von Sardinien und Korsika.

Auch die Löcher der Bohrmuscheln bei Nisida in 10 m Höhe, die wenig tiefer bei Pozzuoli liegenden Ablagerungen lebender Muscheln, die 15 und 20 m hoch liegenden Ablagerungen ähnlicher Art an der Küste Kalabriens bezeugen Hebungen langsamer Art, ohne irgendwelche Spuren von Gewaltsamkeit. Im Ägäischen und Schwarzen Meere sind Senkungen im größten Maßstabe noch im Pleistocän erfolgt, und die Inseln und Halbinseln des Ägäischen Meeres sind nur schwache Trümmer der alten Ägäis, die wahrscheinlich gleichzeitig mit jenem östlichen Lande versank, an dessen Stelle die tiefsten Teile des Schwarzen Meeres und der Kaspisee getreten sind.

Und wie in der jüngsten Vergangenheit der Erdgeschichte beständig Hebungen und Senkungen vor sich gegangen sind, so geschah es zu allen Zeiten, wie die Geologie uns auf Schritt und Tritt zeigt. Oft sind

die Senkungen ganz langsam, entsprechend der Sedimentbildung, vor sich gegangen. Ein Zeugnis solcher sehr langsamer, aber überaus lange gleichmäßig andauernder Senkung sind beispielsweise die marinen Schichten, welche das nordamerikanische Coloradoplateau aufbauen. Da sie gegen 5000 m mächtig und doch nirgends eigentliche Tiefseeablagerungen sind, so muß die Senkung ihres ursprünglich nicht tiefen Bodens langsam mit ihrer Bildung fortgeschritten sein, ganz wie bei der Bildung der Korallenriffe, die weit über 1000 m hinabreichen, während doch die riffbauenden Korallen nicht unter 40 m Tiefe leben können.

Die Kleine Gans von der Bastei aus.

Der hier abgebildete, der oberen Kreideformation angehörende Quader- oder Elbesandstein bildet in der sächsischen und böhmischen Schweiz mächtige Lager durch senkrechte Querklüftung ausgezeichneten gelblich weißen Quarzsandsteins, aus welchem vielfach durch Verwitterung die merkwürdigsten Säulenbildungen entstanden sind. Am schönsten sieht man diese Verwitterungsformen in der Bastei, wo zahlreiche solche, bis 65 m hohe Felsentürme von der Erosion herausgearbeitet wurden. (Nach Phot. von Dr. O. Schenk, Alpenzeitg.)

Digitized by Google

X.

Wasser und Land.

Von der teleologischen Annahme ausgehend, daß die unbewohnbaren Wasserflächen der Erde nicht die von Menschen bewohnten Landmassen an Größe übertreffen könnten, sah man im Zeitalter der großen geographischen Entdeckungen im 16. und 17. Jahrhundert überall hinter Küsten, die sich in der Folge als relativ kleinen Inseln angehörig entpuppten, große Festlandmassen. So bestand damals und noch lange später das Phantom eines von Menschen bewohnbaren und kulturfähigen großen Südlandes, der terra australis, welches erst die Reisen von James Cook in den siebenziger Jahren des 18. Jahrhunderts zerstört haben. Durch sie löste sich dieses angenommene gewaltige Festland in eine Anzahl unbedeutender Inseln auf, und ähnlich erging es mit anderen Gebieten.

Heute, da eigentlich nur noch die beiden Polkappen sich der Erforschung durch den Menschen entzogen haben, können wir mit Bestimmtheit sagen, daß die Ozeane an Ausdehnung die Landmassen weit übertreffen, indem letztere nur etwa 27 Prozent der bekannten Erdoberfläche einnehmen. Es kommen nämlich auf 135 Millionen qkm bekannte Landmassen 353 Millionen bekannte Meeresflächen. Das ist nur das Verhältnis der Länder zu den Meeren. Dasjenige des Landes zum Wasser überhaupt ist noch sehr viel ungünstiger, indem manche Gebiete, die hier als festes Land gerechnet wurden, in Wirklichkeit, so in den Polargegenden und im Hochgebirge, dauernd mit Eis bedeckt sind, also unter festem Wasser stehen, oder wie Seen, Flüsse, Sümpfe und Moore mit flüssigem Wasser bedeckt sind. Wenn man alle diese mit Süßwasser in fester oder flüssiger Form bedeckten Teile der Erde dazu rechnet, so kann man sagen, daß reichlich Dreiviertel der Erdoberfläche vom Wasser eingenommen werden.

Das uns luftatmenden Menschen als lebensfeindliches Element erscheinende Wasser ist also weitaus das vorherrschende Lebenselement auf unserem Planeten. Und es faßt auch tatsächlich viel mehr Leben in sich als das Land, das dagegen nur schwach besiedelt ist. Von seiner Oberfläche bis in die tiefsten Abgründe wimmelt es von Lebewesen der mannigfaltigsten Art, die aber im ganzen alle auf einer niedrigeren Stufe der Organisation geblieben sind, als die auf das Land gegangenen und dadurch zu weiteren Fortschritten und neuen Erwerbungen befähigten. Nicht nur sind die Ozeane heute noch der Hauptschoß des Lebens, sie waren vor allem auch der Urquell und Entstehungsort des Lebens. Aus der Salzflut kam das Leben, und als es sich auch in einer größeren Zahl von Vertretern dem Landdasein angepaßt hatte, blieben die Lebewesen der Hauptsache nach noch mit salzigem Wasser durchtränkt. So spielt sich noch das Einzelleben der Zellen, die den Organismus der Landtiere aufbauen, wie in Urzeiten in Salzwasser ab. An dieses ist also das Leben in jeder Form und überall gebunden.

Die alten handelslustigen Phöniker nannten das große, scheinbar grenzenlose Meer, in das sie hinaussegelten, wenn sie die von ihnen als Säulen des Baal, des griechischen Herakles, bezeichnete Landenge von Gibraltar vom Mittelmeer her durchfahren hatten, Og, d. h. Allumfasser, wonach, wie der große Geograph Karl Ritter meint, die Griechen das Wort Okeanos gebildet haben. Und unsere viel gereiftere Erkenntnis vom Bilde der Erde läßt uns heute noch die für unseresgleichen bewohnbare Welt als eine meerumflossene Inselwelt wie zur Zeit der Phöniker, Griechen und Römer erscheinen. Nur ist uns nicht mehr die ganze Erde wie zur Zeit des Altertums eine im Meere schwimmende Scheibe, sondern nach unserer Anschauung entsteigen drei große Landmassen und unzählige Inseln als gewölbte Hervorragungen dem sie von allen Seiten umflutenden Ozeane.

Der überreichen Menge von Wasser verdankt die Erde die allenthalben auf ihr anzutreffende Feuchtigkeit. Selbst die trockenste Wüstenluft enthält noch Wasserdampf und die allerdürrsten und lebensfeindlichsten Wüsten besitzen reichlich Grundwasser in der Tiefe. All dieses Wasser stammt in letzter Linie aus den Ozeanen, wohin es strömte, nachdem es beim Entgasungsprozesse der Erdkugel durch die Vulkane an die Oberfläche gebracht worden war. In den Ozeanen verdunstet es durch die Sonnenwärme, steigt als Wasserdampf in die Höhe, kondensiert sich in mehr oder weniger hohen Schichten der Atmosphäre zu Wolken, die

der Wind über die Kontinente treibt, um die darin enthaltene Feuchtigkeit schließlich als Regen oder Schnee niederzuschlagen.

Das Übergewicht des Wassers an der Erdoberfläche begreifen wir in seiner ganzen Größe erst, wenn wir diesen Umstand erdgeschichtlich würdigen. Wenn wir bedenken, daß die mittlere Tiefe des Meeres von 3500 m über fünfmal die zu 735 m festgestellte mittlere Höhe des Festlandes übertrifft, und daß das Volumen des Meeres etwa das Dreizehnfache desjenigen der über die Meeresoberfläche hervorragenden Länder beträgt, so liegt es nahe, mit Whitney die Depressionen der Erdrinde, in welchen das Meer steht, als die wirklich wichtigen Züge in der Physiognomie der Erde anzusehen und in der Bildung oder Veränderung eines Meeresbeckens einen viel wichtigeren Vorgang als in der Entwicklung oder dem Zerfall eines Erdteils zu erblicken.

Die festen Teile der Erdoberfläche sind in der Tat nur zerstreute, meist ganz unbedeutende Hervorragungen der festen Erde, deren Hauptmasse tiefer liegt. Bei so großem Übergewicht des Flüssigen über das aus ihm hervorragende Feste hat ersteres begreiflicherweise eine vorherrschende Stellung in allen Vorgängen eingenommen, die das Verhältnis der beiden zueinander zu ändern bestreben. Schon verhältnismäßig leichte Verschiebungen mußten große Strecken des Landes ins Meer untertauchen oder sich aus ihm emporheben lassen, während das Wasser durch diese Verschiebungen in demselben Maße weniger ververändert wurde, als seine Masse größer ist. Würde alles Land, das jetzt über den Meeresspiegel hervorragt, unter denselben sinken, so würde das Meer nur um $^1/_{13}$ seines jetzigen Volumens zunehmen. Es sind also nur Schwankungen von verhältnismäßig geringem Betrage nötig, um große Strecken von Land unter Wasser zu tauchen, während umgekehrt die geräumigen Meeresbecken nur durch ungleich viel mächtigere Umgestaltungen ihres Bodens wesentliche Veränderungen erleiden.

Die Erdteile sind nicht bloß dem Worte nach Inseln, sondern wenn man auch ihre Masse erwägt, so liegen sie nur wie wenig hohe Eilande im ruhelos sie umbrandenden Meere. Sänke das Meer nur um 1000 m, so würde das Areal des Landes um 30 Prozent zunehmen, erhöbe es sich um denselben Betrag, so würde letzteres dagegen um 80 Prozent abnehmen. Würde der Meeresboden nur um 45 m erhöht, so würden beispielsweise die großen südostasiatischen Inseln mit dem Festlande Asien vereinigt, erhöbe er sich aber um 200 m, so würden die Ränder dieses Festlandes über die Javasee bis zur Makassarstraße gegen Celebes hin sich ausdehnen und die Philippineninsel Palauan und

Formosa würden sich ihm anschließen. **Es treten also Perioden geringerer Landgröße und damit im Zusammenhange ausgedehnterer Meeresverbreitung leichter auf der Erdoberfläche ein als das Gegenteil davon.**

Bekanntlich ist auch die Verteilung von Wasser und Land eine sehr ungleiche. Wie auf unserem Nachbarplaneten Mars ist bei uns das Wasser hauptsächlich auf die südliche Halbkugel zusammengedrängt, so daß hier gegen dreimal größere Wasserflächen als auf der nördlichen Hemisphäre sind. Es läßt sich nämlich die Erdkugel zwischen Nordosten und Südwesten so halbieren, daß auf der südwestlichen Halbkugel nur ungefähr ein Achtel, auf der nordöstlichen der ganze Rest des Festlandes zu liegen kommt; deshalb hat man mit Recht die **nordöstliche Hemisphäre als die Landhalbkugel der südwestlichen als der Wasserhalbkugel gegenübergestellt.** Wenn man die unbekannten Polargebiete außer Betracht läßt, so verhalten sich Wasser und Land auf der Landhalbkugel wie 13:12, auf der Wasserhalbkugel dagegen wie 14,4:1. **Dies verleiht der Nordhemisphäre ein Übergewicht in bezug auf alle Einflüsse, die vom Lande herrühren, der südlichen dagegen an allen solchen, die vom Wasser ausgehen.**

Was die Umrißbildung der Kontinente betrifft, so ist auffallend, daß die über die Meeresoberfläche hinausragenden Festlandmassen alle nach Süden keilförmig zugespitzt verlaufen. Diese Verhältnisse sind erst im Pleistocän so geworden, und zwar liegt diesem Verhalten keinerlei Gesetzmäßigkeit zugrunde. Eine weitere Eigentümlichkeit der jetzigen Erde ist, daß die Kontinente auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten von Kettengebirgen eingesäumt sind, von denen das höhere auf der Seite des größeren Ozeans liegt. Daß solche große Kettengebirge am Meere liegen, ist die einfache Folge der Verknüpfung zwischen Gebirgsbildung und Senkung durch Einbrüche, bei welchen sich auf den Bruchspalten mit Vorliebe Vulkane entwickeln. So ziehen in den Anden Südamerikas und noch deutlicher in Ostasien parallele Linien von Vulkanen der Küste entlang, als deutlicher Beweis für das Vorhandensein von Spalten im Küstenabfalle. Da nun die Landeinbrüche stets auf der inneren konkaven Seite des in einem Bogen verlaufenden Faltengebirges auftreten, so sehen wir stets dort an den Spalten, an denen die Einbrüche erfolgten, die vulkanischen Gebirge zutage treten. So ist auf der Innenseite des Alpenbogens der vulkanische Ausbruch der Euganeen, auf derjenigen der Karpathen der große Vulkanherd in der vom Flusse Gran durchzogenen Niederung erfolgt. So lassen sich auch

an der Innenseite des Apennins auf Spalten nicht nur eine, sondern mehrere Vulkanreihen von zum Teil beträchtlicher Ausdehnung verfolgen, die untereinander und mit dem Faltengebirge des Apennins parallel laufen.

Wie die Landmassen um den Stillen Ozean und im Kleineren diejenigen des größten Teiles des Mittelländischen Meeres diesen von Eduard Sueß als pazifisch bezeichneten Küstentypus aufweisen, so zeigen die Gestade des Atlantischen Ozeans mit einziger Ausnahme der Nordküste Spaniens und derjenigen um das karibische Meer herum, keine Spur eines Zusammenhanges zwischen dem Verlaufe der Küste und demjenigen parallel streichender Gebirge. Hier schneidet vielmehr der Kontinentalumriß oft die tektonischen Linien des Landes. Man bezeichnet diesen Typus, dem wir außerhalb des genannten Beckens noch an der Ostküste von Afrika, der Südküste Arabiens, in Indien und Australien begegnen, als atlantischen Küstentypus.

Da beständig Bodenverschiebungen vor sich gehen, hat sich der Umriß des Festlandes im Laufe der Erdgeschichte immerfort verändert. Kontinente sind ins Meer versunken und andere daraus hervorgetaucht. Aber auch abgesehen von solchen Veränderungen wird allein schon durch die der Abtragung des Festlandes entsprechende Ausfüllung des Weltmeeres das Niveau der Wasserfläche erhöht; dadurch werden Teile des Festlandes mit der Zeit vom Wasser bedeckt, die vorher trocken lagen. Man hat berechnet, daß in etwa 20000 Jahren die Kontinente im ganzen um 1 m erniedrigt werden. Das entsprechende, durch die Flüsse entführte Material, wird im Meere den Küsten entlang abgelagert. Aber da die Oberfläche des Meeres fast dreimal größer ist als diejenige des Landes, so wird es gegen 80000 Jahre dauern, bis auf diesem Wege der Wasserspiegel nur um 1 m steigt. Während aber diese Erhöhung das gesamte Weltmeer betrifft, wird andererseits durch die Landabtragung natürlich die Masse der Kontinente und dadurch das Ansteigen der Meere gegen deren Küsten vermindert.

Einesteils wird durch die Schlammabfuhr der Flüsse das Land allmählich in das Meer hinausgebaut, anderenteils frißt sich aber das Meer überall an den Küsten entlang in ersteres hinein. Wenn die Wogen vom Sturme gepeitscht beispielsweise an eine Steilküste anprallen, so hat, wie Stevenson mit seinem Dynamometer gemessen hat, jeder Quadratmeter Gestein den ungeheuren Druck von 29 700 kg auszuhalten.

Dadurch zerbröckelt dieses rasch, soweit die Brandung bei der Flut reicht, und das Meer frißt sich dementsprechend in das Land hinein. In dem Maße als die Gesteine der Küste, von den gegen sie anprallenden

Wogen unterminiert, abbröckeln, werden sie von den Wellen hin- und hergeworfen, mit der Zeit zu Grus zerrieben und rutschen dann schließlich entsprechend dem Gefälle der Böschung nach und nach in die Tiefe.

So entsteht längs aller Küsten ein ganz allmählich gegen die Meerestiefe abfallendes Gebiet, das man als Litoralzone oder Kontinentalstufe bezeichnet. Da die Kontinente auf ihm wie auf einem

Fig. 125. Brandung bei Mollendo am Fuße der Küstencordillere in Südperu. Nach Photogramm von Dr. H. Hoek, aus der Deutschen Alpenzeitung.

Sockel ruhen, gebraucht man dafür auch die Bezeichnung Kontinentalsockel. Dieser hat etwa eine Tiefe von 200 m und geht nur ausnahmsweise auf 400 m. Von ihm erst erfolgt ein steiler Abfall in die Tiefsee. Dieses plötzliche Abstürzen des Meeresbodens in große Tiefen in einiger Entfernung vom Festland wurde zuerst bei der atlantischen Kabellegung beobachtet. Ganz in den Bereich der Kontinentalstufe fallen seichte Randmeere, wie die Nordsee und das Gelbe Meer. Dagegen sind die großen Meeresströmungen aus den Meeren der Kontinentalstufe, weil sie zu wenig tief sind, ausgeschlossen und organogener, d. h. von den Organismenresten gebildeter Schlamm wird nur auf tieferen Stufen des Meeresbodens als hier vorhanden sind abgelagert.

Digitized by Google

Da, wo das Küstenland flach ist, fällt auch das Meer nur allmählich zu größeren Tiefen ab, während da, wo hohe Gebirge an die Küste herantreten, der Kontinentalsockel rasch in große Tiefen hinabsinkt. So läuft das norddeutsche Tiefland in die Nord- und Ostsee, als sehr seichten Randmeeren aus, die eigentlich nur als Überschwemmungen von tieferen Stücken dieses Tieflandes anzusehen sind, während das östliche Mittelmeer gerade dort seine größte Tiefe von 3000 m erreicht, wo sich am benachbarten Lande das Lykische Gebirge bis zu 3000 m aus dem Meere erhebt.

Die größten Tiefen des Meeres reichen wenig über 9000 m hinab. Die allergrößte heute bekannte beträgt 9427 m und liegt im südlichen Stillen Ozean südöstlich von den Tonga-Inseln; die ihr nächstfolgende östlich von den Kurilen. Letztere stellt einen Kesselbruch dar, mit dessen Bildung, wie wir gesehen haben, die zahlreichen Erdbeben Japans zusammenhängen. Die mittlere Meerestiefe, die wir zu 3500 angegeben haben, beträgt nur $^1/_{1820}$ des Erdhalbmessers, würde also auf einem Globus von 1 m Durchmesser kaum sichtbar werden. Die Meere sind also trotz ihrer großen durchschnittlichen Tiefe im Vergleich zur Größe der Erde nur ganz unbedeutende Ansammlungen.

Fast $^2/_3$ des Meeresbodens liegen unter 3660 m, sind also Tiefsee. Dabei ist der Meeresboden im Vergleich zur Landoberfläche im allgemeinen wenig gegliedert, da kein fließendes Wasser denselben ausmodelliert, die Sedimente in ihm vielmehr alle Unebenheiten ausgleichen. Die mittleren Tiefen sind beim Stillen Ozean 4080 m, beim Atlantischen Ozean 3760 m, beim Mittelmeer 1430 m, bei der Nordsee 90 m und bei der Ostsee 70 m. Oft ist der Meeresboden von hohen Erhebungen durchzogen. Eine solche ist beispielsweise der mittelatlantische Rücken, welcher etwa in der Mitte des Atlantischen Ozeans den Umrissen der Küsten parallel läuft. Dieser Rücken ist von Island im Norden bis zur Insel Tristan da Cunha im Süden mit vereinzelten Vulkanen besetzt. Durch Ausläufer steht er sowohl mit dem amerikanischen als afrikanischen Kontinente in Verbindung. Der Stille Ozean weist ebenfalls einige solche gebirgskettenartige Erhebungen auf, die, durch große Tiefen von einander geschieden, verhältnismäßig steil ansteigen, und zwar scheint jede größere Inselgruppe ein Gebirge für sich zu bilden. Weil sie von Korallen, die nahezu vertikal aufbauen, umsäumt sind, weisen sie oft sehr steile Böschungen auf.

Diese unterseeischen Rücken, die oft so hoch im Meere emporragen, daß in den Polargebieten die größten Eisberge darauf stranden, üben auf die Wasserströmungen der Tiefsee einen großen Einfluß aus. Sie

zerlegen den gesamten Meeresboden in einzelne, mehr oder weniger von einander abgeschlossene Becken und sind besonders in den subpolaren Meeresteilen von großer Wichtigkeit, indem sie dort dem kalten Polarwasser gewisse Schranken ziehen. So verhindert der an den meisten Stellen bis zu 300 m unter die Meeresoberfläche aufsteigende Landrücken in der Tiefe der Dänemarkstraße nicht nur das eiskalte Wasser des nördlichen Eismeeres weiter nach Süden vorzudringen, sondern hält es auch von den Küsten Islands ab. In ihm liegt mit ein Grund für das im Vergleich mit Ostgrönland mildere Klima dieser Insel. Im Zusammenhang mit dem Rücken, der Island, die Färöer und die Shetlandinseln verbindet, liegt in ihm eine natürliche Schranke zwischen dem Atlantischen Ozean und dem nördlichen Eismeer.

Die großen Züge der Bodengestalt des Meeres kommen vor allem in der Verteilung der Inseln zum Ausdruck, die da, wo Festländer der langsamen Zerstörung durch die vom Meere langsam fortschreitende Brandungswelle unterliegen, nur Reste und Trümmer derselben sind. Gelegentlich können sie dagegen durch Vulkanausbrüche, Korallenbauten und Anschwemmungen erzeugte Neubildungen sein. Wie die Bergspitzen über den Nebel der Niederungen ragen, so erheben sich die Inseln meist steil aus dem Meere und sind im allgemeinen sehr gebirgig. Sie können dem Leben nur beschränkten Raum darbieten; deshalb sondern sich die sich auf ihnen zusammendrängenden Lebewesen ab.

Der zu früh der Wissenschaft entrissene Leipziger Professor Dr. Friedrich Ratzel schreibt mit Recht über sie im ersten Bande seines ausgezeichneten Werkes ‚Die Erde und das Leben‘: „Isolierung kommt von Insel. So wie die Insel ein vereinzeltes Land ist, so hegt sie auch vereinzelte Lebewesen. Der Einzigkeit der Inseln entspricht oft die Einzigkeit ihrer Geschöpfe. Die schöne Araucaria excelsa der kleinen, einsamen Norfolkinsel ist ein hochragendes, der Drachenbaum von Teneriffe, mit 12 m Umfang, ein mammuthaft massiges Beispiel, nicht minder die noch nicht lange ausgestorbenen Riesenvögel Madagaskars, deren Eier den sechsfachen Inhalt von Straußeneiern haben. Der Orang-Utan Borneos zeigt uns den menschenähnlichsten aller Affen als Inselbewohner. Und nicht blos große Inseln sind durch solche Einzigkeiten ausgezeichnet. Eine vor der Azoreninsel Flores aus dem Meere ragende Klippe trägt eine strauchartige Glockenblume, Campanula Vidali, die auf dem ganzen Erdenrund nur auf dieser einsamen Klippe wächst.

Es gilt ähnliches auch vom Menschen. Die ausgestorbenen Tasmanier waren ein besonderer Zweig der australischen Rasse. Australien

ist der inselreichste Erdteil und trägt die eigentümlichste Rasse von Menschen, und nur diese. Welche Mannigfaltigkeit der Rassen, Abarten und Stämme auf den Inseln Asiens im Vergleich zu der großartigen Einförmigkeit der mongolischen Rasse in Nord- und Mittelasien! Wie scharf abgesondert sind selbst Engländer und Japaner von den ihnen zunächst wohnenden Kontinentalvölkern! Man kann nicht zweifeln: die Inseln befördern die Mannigfaltigkeit und Eigentümlichkeit der lebenden Wesen, indem sie denselben Wohnsitze bieten, die durch Absonderung mannigfaltig und eigentümlich sind."

In dem beschränkten Raume einer Insel gehen, wie dieser Autor eingehend ausführt, einesteils viele Lebewesen zugrunde, während sich andere dafür zu gewaltigem Reichtume entwickeln. Die großen, an eigenen Lebensformen reichen Inseln spiegeln in ihrer Pflanzen- und Tierwelt nicht nur die Schicksale derselben im Laufe der Erdgeschichte wieder, sondern sie zeigen durch sie auch die ehemaligen Landbrücken an, die wir sonst oft nicht einmal ahnen würden. Die Inselnatur schützt nämlich die Tiere und Pflanzen nicht nur gegen Nachstellungen von seiten ihrer Feinde, sondern auch gegen die Mischung mit Artverwandten. Gleichzeitig sind sie aber auch vermöge ihrer freien offenen Lage Aufnahmegebiete und begünstigen eine Neubesiedelung durch die wanderfähigsten Kolonisten. Daneben sind sie selbständige Schöpfungszentren, indem sich die Absonderung mit den Besonderheiten der Lebensbedingungen vereinigt, um Abänderungen im Baue der Lebewesen hervorzubringen und zu befestigen. Und diese mit der Zeit fortschreitende Sonderentwickelung der Lebewelt der Inseln gibt uns einen sehr willkommenen Maßstab für deren Alter.

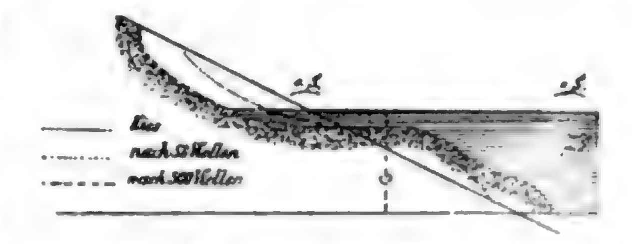


Fig. 126. Wirkung des Wellenschlages auf ein Kiesufer.

Die Küste ist der Sitz und das Erzeugnis der Bewegungen des Meeres gegen das Land. Diese werden hauptsächlich durch die Sonnenwärme erzeugt, welche unmittelbar im Meere Strömungen erzeugt, mittelbar aber die Luft in Bewegung bringt, um die Wasseroberfläche in Form von Wellen zu erregen, die tosend gegen die Küsten branden. Gleichzeitig wird das Meer durch die Anziehung von Sonne und Mond bis in seine tiefsten Tiefen in Bewegung gesetzt. Die dadurch hervorgerufenen Gezeiten wandern unaufhörlich um die Erde herum und erheben sich gelegentlich als Springfluten drohend gegen

das Land. Die Flut setzt oft weite Strecken Landes unter Wasser, die bei der Ebbe dann vorübergehend wieder trocken zu liegen kommen.

Die höchsten Meereswellen, die man bei Sturm beobachtet hat, sind nach genauen Messungen im Atlantischen Ozeane 12 m bis allerhöchstens 15 m hoch. Dabei beträgt die Länge der Wellen nach Laas durchschnittlich über 60 bis 140 m, ihre Geschwindigkeit 11 bis 15 m in der Sekunde und ihre Aufeinanderfolge 6 bis 10 Sekunden. Doch wechselt die Höhe und Breite der Wogen auch im Sturm in hohem Maße. Im Gebiete der Passatwinde beträgt ihre Höhe für gewöhnlich nur 1,9 m, im Westwindgebiet des Südatlantik 4,3 m, im Gebiete der Passatwinde des Indischen Ozeans 2,8 m, in seinem Westgebiet 5,3 m, im Chinesischen und Japanischen Meer 3,2 m und im westlichen Stillen Ozean 3,1 m. Die größten Wellenhöhen der Nordsee werden auf 4 m, diejenigen des Mittelmeeres auf 4,5 m geschätzt. Wenn beispielsweise die so häufig wehenden Nordwestwinde den Wasserstand in der südlichen Ostsee durch Zufuhr aus der nordwestlichen Ostsee und Nordsee gesteigert haben und nun noch ein Nordoststurm einsetzt, dann steigt in der südwestlichen Ostsee das Wasser 2 m und mehr über den Nullpunkt des Pegels, ja im Jahre 1872 erreichte die Wasserhöhe sogar 3 m über Null, aber nur für 2 Stunden.

Die verheerendsten Sturmfluten treten in der Nordsee dann ein, wenn auf längeres Wehen von Südwestwinden, welche große Massen von Wasser aus dem Kanal in die Nordsee geführt haben, West- oder Nordweststurm eintritt. Bei solcher Gelegenheit kommen an den deutschen Küsten Wasserhöhen von 4 m über der höchsten Fluthöhe vor und bis 20 m über Wasser reichende Gegenstände werden dann von den Wellen getroffen. So stand am 18. Mai 1860 das Wasser der Zuidersee am Ostrande 5 m höher als am Westrande. Besonders in deichlosen Zeiten konnten solche Sturmfluten die größten Katastrophen erzeugen und ganze Volksstämme vertreiben. Wie sie im Altertume die Cimbern und Teutonen zum Auswandern zwangen, haben sie die großen vlämischen Ostwanderungen des Mittelalters hervorgerufen und bis in die Gegenwart den größten Schaden und teilweise ganz gewaltige Landverluste an der Nordseeküste erzeugt. Und wie hier, sehen wir auch an anderen Meeren, die von ähnlich flachen und von Natur lockeren Küsten umgeben sind, diese für die Anwohner so schlimmen Vorgänge sich wiederholen.

Aber auch da, wo die Küste widerstandsfähiger ist, arbeitet die Brandung in unermüdlicher Tätigkeit an ihrer Zerstörung. Jede

Steilküste von Helgoland. Diese kleine Insel ist ein beredtes Zeugnis der zerstörenden Wirkung der gegen eine Felsküste brandenden Meereswogen. An ihrer Zerbröckelung hilft aber auch der Frost mit. Durch solche Einwirkungen ist sie zum letzten unansehnlichen Reste eines noch in frühhistorischer Zeit um ein Mehrfaches größeren Eilandes geworden, das durch die immer weiter nach Süden greifende Zerstörung der Küsten des deutschen Festlandes überhaupt erst nach Schluß der letzten Eiszeit vom europäischen Kontinente losgelöst und dadurch zur Insel gemacht wurde.

Digitized by Google

Küste wird von einem Brandungsstreifen umrahmt und ihm entsprechen die Strandlinien als Spuren der Arbeit der Wellen in den verschiedensten Formen. Alles, was das Meer bewegt, verstärkt die zerstörenden Kräfte an der Küste. Neben hohen Fluten kommen starke, landeinwärts wehende Winde und Küstenformen, die eine Stauung des bewegten Meeres begünstigen, der Küstenzerstörung entgegen. Dabei arbeitet vom Lande her fließendes Wasser diesen zerstörenden Kräften entgegen, indem es die Küsten zerschneidet und ihre Abtragung dadurch erleichtert.

Die, wie wir gesehen haben, mit einer ganz enormen Stoßkraft gegen die Küste prallenden Wogen treiben zunächst durch den Druck auf die Felsmauern, die ihnen entgegenstehen, das Wasser mit größter Gewalt in deren Fugen, erweitern dadurch die kleinsten Risse in den Felsen und lockern deren Zusammenhang. Die zurückströmende Welle reißt losgelöste Bestandteile mit, und da die Bodenformen ihr oft nicht ein einfaches Zurückströmen gestatten, bisweilen auch Klippen sich dem Wasser in den Weg stellen, finden vielfache Wirbelbewegungen statt, welche Rollsteine im Kreise bewegen und mit ihnen ganze Kessel in die Felsen graben. Da, wo die Küste schräg abfällt, rollt dagegen die Brandung Steine in langen, parallel zueinander verlaufenden, immer tiefer werdenden Rinnen hin und her. An Kalk- und Dolomitküsten entsteht durch die ungleiche Löslichkeit des Gesteins ein Wechsel von Erhöhungen und Vertiefungen, von gewundenen Spalten und scharfen Schneiden, an denen bohrende Muscheln, Würmer und Schwämme, ja selbst Seeigel, welche meist mechanisch, seltener chemisch, die härtesten Gesteine anzugreifen und zu durchlöchern vermögen, am Zerstörungswerke der Brandung mithelfen.

Wenn auch zweifellos die größte zerstörende Arbeit an der Küste über dem Wasserspiegel und wenige Meter darunter vor sich geht, so ist nicht zu vergessen, daß die Arbeitsleistung der Wellen des offenen Meeres bis 200 m, an engbegrenzten Meeren, wie die Adria, aber immerhin noch 40 m in die Tiefe reicht, so daß unter und vor dem Küstenrande schon eine Erosion des Festlandes stattfindet.

In Frostländern übt auch das gefrierende Wasser eine sprengende, auflockernde Wirkung auf die Gesteine der Küsten aus. Wenn das Meerwasser, dessen Gefrierpunkt nebenbei bemerkt, mehr als 2° C. tiefer liegt als derjenige des Süßwassers, gefriert, so dehnt sich das in die feinsten Spalten des Gesteines eingedrungene Wasser aus und übt eine kräftige Sprengwirkung an ihnen aus, die besonders am Schlusse der Frostzeit durch häufige Abstürze sich bemerkbar macht. Eine hauptsächlich durch

solche Einwirkungen erzeugte Steilküste ist diejenige von Helgoland, wo die mittleren täglichen Temperaturminima der ersten drei Monate unter dem Gefrierpunkte liegen. In den Polarländern arbeitet dann auch das Treibeis an der Zerstörung der Küste mit.

Regelmäßige und länger andauernde Winde überschütten nicht nur breite Strecken einer Flachküste mit Flugsand und erzeugen damit kilometerbreite Dünengürtel mit landeinwärts wandernden Dünen, sondern sie häufen auch durch den regelmäßigen Seegang, den sie bewirken, Schwemmstoffe in flachen Meeren in den Richtungen, nach denen sie wehen, auf. Ändert sich diese Richtung, so wird das Werk alsbald wieder zerstört. So erzeugen sie mit der Zeit Schwemminseln, die mit der Richtung der Winde schwanken. Wo der Wind aber parallel oder in spitzem Winkel zu einer Küste weht, so erzeugt er eine Wasserbewegung der Küste entlang, einen sogenannten Küstenstrom, den man aber nicht mit den auf Wärmeunterschieden des Wassers beruhenden Küstenströmungen verwechseln darf. Beträgt dabei die Geschwindigkeit der Welle mindestens 10 bis 20 cm in der Sekunde, so transportiert sie feinen Seesand der Küste entlang und versandet und verschlammt damit die Häfen und Flußmündungen, was für die Schiffahrt unter Umständen sehr hinderlich werden kann. Und zwar arbeiten an dieser sogenannten Küstenversetzung am schlimmsten die von der Sturmflut gepeitschten schräg auflaufenden Wellen.

Aber die Küsten, an denen Wasser und Land wechselseitig aufeinander wirken, sind nicht bloß ein Schauplatz der Zerstörung, sondern sie lassen auch Neubildungen erstehen. Solche sind die Küstenablagerungen, die hauptsächlich vor Flußmündungen entstehen. Ihre Bildung wird durch ganz bestimmte Verhältnisse bewirkt. Treffen nämlich feste Stoffe, die in süßem Wasser in fein verteiltem Zustande suspendiert sind, mit Salzwasser zusammen, so fallen sie nicht bloß infolge von Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit zu Boden, sondern es spielen dabei auch chemische Vorgänge mit, indem bei sonst ganz gleichen äußeren Bedingungen Salzwasser weniger Schlamm als Süßwasser schwebend erhalten kann und zwar bei höherer Temperatur weniger als bei niederer. Daher die fast allgemeine Inselbildung bei der Mündung der Flüsse ins Meer, Inselbildungen, die sich bis zu Deltas verdichten können.

Allerdings ist der unmittelbare Beitrag der Flüsse zum Neuland der Küste gering. So hat Arends geschätzt, daß vom ostfriesischen Marschland nur $^1/_{132}$ durch die Flüsse gebildet worden sei. Ursprünglich

haben aber doch die Flüsse den Schlamm gebracht, den die Fluten nun aufrühren und dem Lande zutragen, wobei diese nach Messungen vor der Elbemündung 5 bis 6 mal soviel feste Bestandteile bei heftigem Nordwest als bei Windstille enthalten.

Parallel zur Küste von den Wogen angeschwemmte Küstendämme bezeichnet man als Nehrungen, italienisch lidi. Oft sind die dahinter liegenden Lagunen durch Senkungsgebiete entstanden.

Auch die Pflanzenwelt nimmt an der Schwemmküstenbildung teil. Die Wasser- und Sumpfpflanzen befördern zunächst mechanisch die Ab-

Fig. 127. Mangrovendickicht an der Küste von Kamerun. Von den wie auf Stelzen gestellten alten Bäumen sehen wir die im Laufe von 8 bis 9 Monaten bis zu 30—50 cm langen und 1,5 cm dicken, etwa 80 g schweren sog. Keimblattstöcken ausgewachsenen Keimlinge aus den Früchten heraushängen. Bei jeder Luftströmung hin und her pendelnd reißen sie sich endlich durch ihr Gewicht los, um sich pfeilartig mit dem unteren, alsbald Wurzeln treibenden Ende in den Schlamm einzubohren. Sogar eine 1/2 m hohe Wasserschicht durchfahren sie mit solcher Gewalt, daß sie in dem darunter befindlichen Schlamm aufrecht stecken bleiben und von der einsetzenden Flut nicht mehr losgerissen und ins tiefe Wasser geschwemmt werden können, womit ja ihr Untergang besiegelt wäre. Wenige Tage nach ihrer Loslösung vom Mutterstocke fällt auch die sie so lange bergende Fruchthülle mit dem in derselben zurückbleibenden Keimblatte vom Baume. So überaus zweckmäßig geht die Verbreitung dieser Sumpfgewächse vor sich.

lagerung von Schlamm und Sand, indem sie die Bewegung des Wassers hemmen. Diese Fähigkeit wächst in dem Maße, als diese Gewächse sich beim Heraufwachsen aus dem Boden verdichten, bis schließlich die Bedingungen zur Moorbildung gegeben sind und die Pflanzen darin durch ihre Leiber selbst Material zum Aufbau der Schwemmküste liefern. So können durch ihren Reichtum an Schilf ausgezeichnete Moore von 3 bis 4 m Mächtigkeit bis ans Meer herantreten. Dadurch entstehen

reine Torfküsten, wie wir sie an so manchen Stellen der Ostsee finden. Im sogenannten Wasserboden folgen auf die erste Vegetation grüner Algenfäden die Salzkräuter, die dem Boden die für das Wachstum der eigentlichen Landpflanzen giftigen Salze des Meeres entziehen und ihn für den Graswuchs vorbereiten. Die Sturmfluten befördern ihr Gedeihen ganz wesentlich, indem sie sie mit ihrem schlammbeladenen Wasser überrieseln, das viel langsamer abfließt als es kam und daher den größten Teil seiner Schwemmstoffe auf ihnen niederschlägt.

Viel energischer wirken die Pflanzen als Küstenbauer in den tropischen Meeren, wo nicht nur, wie bei uns, vergängliche Gräser und Kräuter im Wasser der Meeresküsten wie im Brackwasser der Flußmündungen leben, sondern als Mangroven und verwandte Holzgewächse so weit in das Meer hinauswandern, als das Meerwasser selbst zur Ebbezeit noch ihre Wurzeln bespült. Das Wachstum der Mangrovendickichte, die dem Wasser nachgehen, indem diese holzigen Wassergewächse, die mit weit ausgreifenden Stelzenwurzeln zum besseren Verankern im Boden und mit besonderen knieförmig gebogenen Atmungswurzeln versehen sind, allmählich absterben, wenn der abgelagerte Schlamm ihre Wurzeln ganz bedeckt, zeigt ein Abwärts- und Auswärtswachsen dieser Pflanzen mit dem Wasserniveau, was ein entsprechendes Hinauswachsen der Küste bedeutet.

Die Tange und Algen der Küstenregion schützen ebenfalls die Gesteine gegen den Wasseranprall, indem sie nicht nur die Kraft der größten durch sie hindurch wandernden Brandungswellen abschwächen sondern sie auch mit ihren Leibern auf der Wasserseite umpanzern. Werden sie auch auf die Küste geworfen, so legen sie sich mit ihren gallertig weichen Teilen in den Weg des gewaltsamsten Wellenschlags und schützen so die Unterlage gegen den heftigsten Anprall der Wogen. Da das Treibeis die untermeerische, die Küsten schützende Pflanzendecke abreibt, werden eisumgürtete Küsten rascher zerstört. Unter den Tieren sind besonders die Cirrhipedier oder Schalenkrebse durch ihre panzerartig dichten Kolonien ein wesentlicher Schutz der Küsten.

Je flacher das Land an das Meer herantritt, um so geringer ist der Einfluß des Landes auf die Küstenbildung und um so hervorragender ist die Rolle des Sandes, für dessen ununterbrochene neue Zufuhr das Spiel der Wellen an den Flachküsten sorgt. So liegt an der Ostsee der Sand bis zu 10 m unter dem Wasserspiegel, dann folgt in der Regel Ton, der von etwa 50 m an rein vorkommt. An tiefliegenden Sandbänken sind hier leicht lokale Senkungen zu erkennen. Der Sand

ist wegen der Leichtigkeit, mit der er von Wind und Welle bewegt wird, ein überaus wichtiger Bestandteil der Flachküste, wo er zu oft mehrere Kilometer breiten und über 100 m hohen Dünen zusammengetragen wird. Je größer der Vorstrand durch Zurücktreten des Meeres ist, um so größere Mengen von Dünensand kann der Wind landeinwärts tragen; deshalb wachsen die Dünen der Ostsee besonders im Frühjahr, weil dann infolge Zurückgehens der Vegetation mehr Sand freiliegt.

Die Deltas sind Küstenbildungen, die teils aus salzigen, teils aus süßen oder brackischen Wasserniederschlägen gebildet sind und von den Flüssen an ihren Mündungen weit ins Meer hinausgebaut werden. So ist das Nildelta, wie schon der Vater der Geschichte, Herodot, es aussprach, ein Geschenk des Nils. Durch die bei Überschwemmungen desselben regelmäßig abgesetzten Schichten befruchtenden Schlammes war es das Gartenland und die Kornkammer Ägyptens, das unter der Herrschaft der Römer selbst Rom mit Getreide versah. In Dreieckform, d. h. in Gestalt des griechischen Buchstabens Delta — daher sein Name — lagern seine quartären Anschwemmungen in 24 000 qkm Ausdehnung um die Tertiärbucht der dasselbe umrandenden Hügel.

Fig. 128. Vom Meer her zusammengewehte und teilweise mit Gräsern, besonders Strandhafer, bewachsene Dünen von Quarzsand bei Scheweningen. (Nach Photogramm von Prof. Brückner.)

Da Flüsse von langem Unterlaufe durch flache Länder, wie der Nil, alles grobe Geröll lange bevor sie zur Mündung gelangen ablagern, so bauen sie ihr Delta bloß aus Schlamm und feinstem Sand auf. Im Nildelta liegt Schlamm aus ganz homogenen, sehr kleinen festen Körperchen von $^1/_{30}$ bis $^1/_{100}$ mm Durchmesser. Sandkörnchen von $^1/_{10}$ mm sind in ihm schon sehr selten. Der frische Nilschlamm hat

63 Prozent unlösliche Bestandteile; dagegen ist er an organischen Bestandteilen sehr arm. Diese betragen nur 1,17 Prozent seiner Masse. Welche Arbeit der Nil hier geleistet hat, wird man erst zu würdigen wissen, wenn man bedenkt, daß man mit dem im Jahre 1887 erbohrten tiefsten Punkte von 105 m die reine Schlammasse noch nicht durchfahren hatte. Das Ästuarium, d. h. die buchtartige Flußmündung, in das er sich einst ergoß, reichte vom Südrande des Natrontals bis zum Nordabfalle des Sinai und dürfte vermutlich im Westen früher als im Osten ausgefüllt worden sein.

Das Wachstum der Deltas schreitet mit sehr verschiedener Geschwindigkeit fort. So gibt es nach Ratzel am Delta des Terek Stellen, die in einem Jahre um 500 m in den Kaspisee vorrücken. Die Pomündung rückt seit der Eindeichung im Durchschnitt jährlich 70 m vor, die Mündung des Tibers um 3,3 m. Das Podelta wächst um 1,14 qkm jährlich, das Donaudelta in demselben Zeitabschnitte um 0,8 qkm, das Rhonedelta um 0,23 qkm. Die Mündungen des Mississippi wachsen jedes Jahr um 60 bis 90 m meerwärts, nur der sogenannte Südpaß, der wegen seiner Tiefe von der Flußschiffahrt benützt wird, bloß um 20 bis 30 m. Aber eben dieser Südpaß ist eine lange Reihe von Jahrzehnten hindurch immer weiter zurückgegangen. An diesem Flusse schwemmen überhaupt bei Niederwasser die Gezeiten oft Bänke fort, die der Strom bei seinem Hochstand aufgeschüttet hatte. Wie sehr das ruhige Wachstum in Seen und abgeschlossenen Meeren die Deltabildung begünstigt, zeigen die Binnendeltas, die außer allem Verhältnis zur Größe ihres Flusses wachsen. So hat beispielsweise die Kander im Thunersee vom Jahre 1714 bis heute über 80 Hektar Deltaland gebildet. Weiteres über die letzteren soll im letzten Abschnitte dieses Bandes besprochen werden.

Größere Deltabildungen fehlen an steilen Längsküsten, die nur Flüsse kurzen Laufes empfangen. An diesen Steilküsten greift das Wasser das Land in dem schmalem Brandungsgürtel an, in welchem es immer tiefer greifende Hohlkehlen einfrißt, über welche die Gesteine abstürzen, um von den rastlos anschlagenden Wogen in immer kleinere Bruchstücke zerrieben zu werden. Die regelmäßigsten Hohlkehlen zeigen die Kalksteinküsten mit Einschluß der Korallenbildungen in ihrem massigen Gestein, während die mehr schieferig geschichteten Steine von der Brandung gleichsam aufgeblättert werden und infolgedessen weniger regelmäßige Brandungshohlkehlen bilden.

In einer weitverbreiteten und formenreichen Gruppe von Küsten öffnen sich nach dem Meere Täler, die durch Faltungen oder Einbrüche

entstanden sind oder von fließendem Wasser oder Eis ausgehöhlt und dann mit dem versinkenden Lande unter Wasser getaucht wurden. Die Hohlformen des Bodens verschwanden dabei unter Wasser, während die gewölbten Teile als Halbinseln übrig blieben, von denen wieder Inseln und Klippen abgeschnitten wurden. So sind am Nordrande des Ligurischen Meeres Täler bis 7600 m vom Lande und 900 m Tiefe nachgewiesen worden, und es sollen dort Talwände von 200 m Höhe unter dem Meere vorkommen. Untermeerische mit Gletscherschutt ausgefüllte, also vor der letzten Vereisung entstandene Täler liegen im Meere vor der Südküste von Wales. Auf der Insel Kuba sind die Wände von alten versenkten Tälern von Korallenriffen umsäumt.

Fig. 129. Eingang zum Trollfjord in Norwegen. Hier sehen wir in ein solches vom Gletscher ausgeschliffenes und hernach durch Sinken des Landes ertrunkenes Trogtal mit geglätteten Seitenwänden.

Wo Gebirge mit der Küstenrichtung einen mehr oder weniger großen Winkel bilden, entstehen sogenannte Riasküsten. Die Brandung dringt zwischen die Gebirgsfalten und Gebirgswölbungen ein, zerfrißt die weicheren Gesteine und läßt härtere Gesteinsmassen als Inseln zurück. Solche an breitgeöffneten Buchten reiche Riasküsten sind beispielsweise die Westküste von Korsika, die Küsten im nordwestlichen Spanien und in der Bretagne. Viel reicher gegliedert sind die Fjorde, die meist in Gruppen, oft zu vielen Tausenden, wie an der norwegischen Küste, als schmale und tiefe, meist von steilen Wänden eingefaßte Einbuchtungen senkrecht oder doch in steilen Winkeln in das Land eindringen. Sie sind durch die aushobelnde Wirkung von Gletschern übertiefte Trogtäler, die dann nachträglich durch das Sinken des Landes unter Wasser gerieten und darin ertranken. Oft kreuzen sich solche Schluchtentäler und schließen dann eine dreieckige Insel oder Inselgruppe zwischen sich ein. Dem, der sich ihnen etwa in Norwegen, Grönland oder Neuseeland vom Meere her nähert, stellen sie sich als überaus

steile, ja teilweise überhängende Felswände von 700 bis 800 m Höhe entgegen, die so unvermittelt abfallen, daß an ein Landen gar nicht zu denken ist, ganz abgesehen davon, daß man vergeblich ein paar Schritte vom Lande Ankergrund suchen würde. Manchmal stürzen sich von ihnen Wasserfälle von vielen hundert Metern Höhe herab, deren zu Staub sich auflösende Wassermassen in einem Bogen, oft ohne die Felswand zu berühren, herabschießen.

Die Fjorde können eine sehr große Länge erreichen. So ist der berühmte Sognefjord 187 km, der Hardangerfjord 156 km und der Nordfjord 121 km lang. Der Beaglekanal im Feuerland ist ein über 200 km langer und sehr gleichmäßig 3 bis 4 km breiter Fjord, der auf weite Strecken ganz gerade ist. Im Vergleich zur Länge ist die Breite der Fjorde gering. So ist der Lysefjord in Norwegen ungefähr 60mal länger als breit. Er ist 40 km lang und an den schmalsten Stellen nur 600 m breit. Auch die mittlere Breite des 187 km langen Sognefjordes ist nur 4,8 km, wenn er auch an einigen Stellen beträchtlich breiter ist. Dabei sind als Folge der Auskolkung durch Gletscher regelmäßig die schmalen Abschnitte eines Fjords tiefer als die breiten. Mit der Zeit aber tragen Flüsse und Meeresströmungen von verschiedenen Seiten her Schutt in die Fjorde und füllen sie so nach und nach aus. Bevor sie von den Gletschern der Eiszeit ausgehobelt und gleichzeitig vor Verwitterung und Schuttausfüllung geschützt wurden, mußten hier schon in der Tertiärzeit Ströme und Flüsse, vom Frost unterstützt, die Aushöhlung der Gebirgstäler begonnen haben. Die Gletscher der verschiedenen Eiszeiten haben an ihnen nur vollendet, was die Wassererosion schon vor der Vergletscherung begonnen hatte. Und erst als sie über Wasser ausgeschliffen waren, wurden sie ins Meer versenkt, woraus sie trotz vielfacher neuerer Hebungen, wie wir sie gerade an der norwegischen Küste beobachten, noch lange nicht genügend gehoben sind, um die Wirkung der vorangegangenen Senkung zu verwischen.

Im Gegensatz zur norwegischen ist die schwedische und finnische Küste durch Zertrümmerung von Halbinseln und Inseln in ganze Schwärme von Tausenden von Inselchen und Klippen aufgelöst. Diese Form, die wir als Schären-Küste bezeichnen, ist auch eine Folge von Gletschererosion an niedrigen Felsenplatten.

Über die Küste ist das Leben aus dem Meere ans Land gestiegen und hat sich im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung das Festland und von da sogar die Luft erobert. Vom Lande ist es teilweise wieder rückläufig ins Meer gegangen.

Jedenfalls aber können wir die Küste als die ‚Schwelle des Lebens' bezeichnen. Ihr Klima wird durch das die Wärme aufspeichernde und langsam wieder abgebende Meer durch warme Meeresströmungen im besonderen und durch die geschützte Lage mancher Bucht gemildert, wodurch zahlreiche Pflanzen und Tiere besonders günstige Lebensbedingungen finden.

„Die Litoralzone des Meerestierlebens", sagt Friedrich Ratzel im ersten Bande seiner bereits erwähnten Erdkunde, betitelt: ‚Die Erde und das Leben', „umfaßt das Gebiet, bis wohin Licht in physiologisch wirksamer Menge und so viel Wärme dringt, teils eingestrahlt, teils durch warme Strömungen herbeigeführt, daß in 500 m Tiefe noch 8° Wärme gemessen werden. Zwischen der Oberfläche und 500 m Tiefe herrscht an den Küstenabfällen noch immer ein reiches Tierleben. Es nimmt rasch von obenher ab, ragt schon in das eigentliche Tiefseegebiet hinein, steht aber noch unter dem Einfluß des Lichtes und der Wärme der Sonne und des Baues des Bodens. Gewöhnlich liegt im Küstenabfall der Sand über dem Ton, und da letzterer dem Tierleben ungünstig ist, nimmt der Tierreichtum ab, wo der Sand aufhört, an der Ostsee oft wenige Meter unter dem Meeresspiegel.

Was wir Litoralzone nennen, zerfällt wieder in mehrere Gürtel. Der oberste ist die Strandzone, die zwischen Ebbe- und Flutgrenze liegt und bezeichnet ist durch die Ufersand- und Uferschlammbewohner: Bohrmuscheln, Miesmuscheln, Sandwurm. Darauf folgt bis etwa 25 m die Zone der Laminarien, wo Algen und Seegras dichte Wälder bilden, in denen pflanzenfressende Fische und Weichtiere, riffbauende Korallen, Austern und andere Zweischaler in oft mächtigen Bänken, die zur Erhöhung und Befestigung des Küstenfundaments beitragen, und große Schnecken wohnen. Im dritten Gürtel hören die riffbauenden Korallen auf, die Vegetation nimmt ab, Kalkalgen sind stark vertreten. Und von ungefähr 100 m an erscheinen mit Tiefseekorallen und Brachiopoden die Vorläufer der Tiefseezone. Im unteren Teil dieser Zone kommen noch in großer Menge Tiefseekorallen, Schnecken und Muscheln, wenn auch nicht in dem Artenreichtum wie weiter oben, vor. Heben wir als Beispiel die Ergebnisse der Challenger-Expedition hervor: es wurden an Muscheln 384 Arten zwischen der Oberfläche und 200 m, 148 zwischen 200 und 1000 m, 24 zwischen 1000 und 2000 m und 70 in größeren Tiefen gefischt.

Was von den Meeresbewohnern zum Lichte drängt, muß entweder an der Oberfläche schwimmen oder an der Küste wohnen. Die Küste

ist daher die einzige Stelle, wo lichtbedürftige Meerespflanzen wurzeln. Wenn auch die äußersten Lichtwellen viel tiefer gehen mögen, vielleicht bis 2200 m der äußersten Tiefe, aus der die Plankton-Expedition grüne mikroskopische Algen heraufgebracht hat, so hört doch im allgemeinen die Litoralflora mit 100 m Tiefe auf. Auch im Genfer See ist nach einer Beobachtung von Forel keine grüne Pflanze tiefer als 60 m zu finden; er hat aus dieser Tiefe das Wassermoos, Thamnium alopecurum, erhalten. Die Wurzeln der Seegräser reichen im allgemeinen nicht tiefer als 10 m. Sie bilden mit nur 27 Arten, die meist sehr weit verbreitet sind und in ungeheuren Mengen dichtgedrängt wachsen, ausgedehnte unterseeische Strandwiesen, auf denen die schmalblättrigen Zosteren tatsächlich wie Gräser dichtesten Wuchses, die breitblättrigen Posidonien mehr wie Schilfrohr wachsen. Auch die Seetange gehören der litoralen Region an. Sie sind in den entlegensten Perioden der Erdgeschichte nachgewiesen und fehlen keiner einsamen Klippe des Weltmeeres. Selten sind sie tiefer als 100 m zu finden, und nur einige gehen bis gegen 400 m hinab. In Tausenden von Arten, in Größen, wodurch die antarktischen Riesentange in die Reihe der Riesen der Lebewelt eintreten, und in allen Farben bewohnen sie die Ufergebiete, die noch belichtet sind. Es gehört zu den merkwürdigen Erscheinungen, daß an den Küsten warmer Länder die zarteren Florideen vorwalten, deren Rot, Blau und Veilchenblau mit den glühendsten Farben der Riffkorallen wetteifert, während die arktischen und antarktischen Meere die riesenhaften Braunalgen beherbergen. Macrocystis pyrifera läßt an den der Antarktis zugewandten Küsten ihre Scheinstämme mit Tausenden dichtgestellter Schmalblätter Hunderte von Metern hinausfluten. Die Küsten von Australien und Neuseeland sind durch einen besonderen Reichtum an Algen ausgezeichnet. Tief wird die Verbreitung der Algen durch das bewegliche Küsteneis beeinflußt. Anderseits stranden Treibeis und Eisberge auf seichten Uferstellen, reiben die mit Pflanzen bedeckten Wände unter dem Wasserspiegel ab und tragen durch die ständige Abkühlung des Uferwassers zur Schwäche der Algenvegetation an eisreichen Küsten bei.

Es findet also eine Verdichtung des Lebens in der Küstenzone statt, wobei sich geographische Wirkungen ebenso deutlich in den Korallenriffen und Muschelbänken zeigen, wie in den Vogelinseln und Vogelklippen, den robbenbesäten Uferstrecken, in dem reichen Leben niederer Tier- und Pflanzenformen auf dem Strande, den die Ebbe trocken gelegt hat. Die Erinnerung an entsprechende Verdichtung des Völker-

lebens am Rande des Meeres liegt nahe. Und in beiden Fällen hat die Gliederung der Küste ihren Anteil daran.

Denn diese Lebensentfaltung an der Küste ist vielfach sehr abhängig von der Art und Gestalt des Bodens. Diese Abhängigkeit, von der das Leben der Hochsee ganz und das Leben der Tiefsee fast frei ist, schafft in dem Litoralgebiete die größten Unterschiede: ob Fels oder Sand, Geröll oder Schlamm, entscheidet über das Leben der Uferregion. Wo das Land sich langsam zur Tiefe abdacht, entstehen weite Gebiete von gleichen Lebensbedingungen, während rascherer Abfall die litoralen Höhenzonen hart übereinander legt. Wo die Höhen und

Fig. 130. Brandung an einer seichten Küste.

Formunterschiede des Meeresbodens wachsen, also besonders in insularen Räumen, rücken die Tiefsee und das Litoral näher zusammen und schaffen die mannigfaltigsten Lebensbedingungen auf engem Raume. Der kleinste Felsen gibt unter solchen Umständen zahllosen Tieren und Pflanzen Halt und zieht dadurch Fische an. Darwin erzählt von einer Klippe in der Nähe der Bermudas in offener See und in beträchtlicher Tiefe, die infolge der Menge von Fischen entdeckt ward, die in ihrer Nähe umherschwammen."

Während das Wasser der Küste vom aufgewühlten Schlamme dem Strande entlang und besonders in der Nachbarschaft darein einmündender Ströme trübe ist, ist das Wasser weiter draußen, wie im offenen Meere, überaus durchsichtig. Es sinken nämlich die im Wasser suspendierten Partikel um so schneller zu Boden je größer der Salzgehalt und

Google

die Temperatur sind. Aus diesem Grunde geht die Klärung im Meerwasser 15mal schneller als im Süßwasser vor sich und heben sich die Meeresströmungen, die Küsten mit trübem Wasser entlang strömen, durch ihre rein blaue Farbe hervor. So zeichnen sich besonders der Golfstrom und der Kuro-Schio, d. h. der schwarze Strom an den Küsten Japans durch ihre tiefblaue Farbe gegen die Umgebung ab; deshalb ist auch das Meerwasser im allgemeinen viel durchsichtiger als das nur langsam sedimentierende süße Wasser der Binnenseen. Durch Versuche mit reinem Wasser in Röhren hat man gefunden, daß eine Wassersäule von 5 m Länge ²/₃ des einfallenden Lichtes verschluckt. Durch 300 m Wasser vermag kaum eine Spur von Licht durchzudringen, und zwar nimmt, wie diese Versuche zeigen, die Durchsichtigkeit des Wassers mit steigender Temperatur ab.

Es ist aber vollkommen ausgeschlossen, daß Licht in größere Meerestiefen eindringt, wie Ratzel fälschlicherweise in dem vorhin angeführten Zitate erwähnt. Infolgedessen kann auch kein Pflanzenleben, das zur Assimilation ja Sonnenlicht nötig hat, in tieferen Schichten als etwa 300 m im Meere vorkommen. Nur soweit die Lichtstrahlen in genügender Stärke einzudringen vermögen, kann es bestehen. Deshalb können Meerpflanzen nur in der vom Licht in abnehmender Intensität durchfluteten obersten Meeresschicht gedeihen, und zwar sind sie nur in den oberflächlichsten Schichten grün gefärbt. In größeren Tiefen erscheinen sie rot und violett, indem bei ihnen der Chlorophyllkörper durch das in saurer Lösung rot und in alkalischer violett gefärbte Anthocyan verdeckt ist, das dazu dient, die Lichtstrahlen von großer Wellenlänge, die nur in so große Tiefen dringen, in solche von kurzer Wellenlänge, die noch chemisch aktiv beim Assimilationsprozesse verwendet werden können, zu verwandeln. Unter 80 m ist die Flora sehr spärlich und hört bei 300 m Tiefe vollkommen auf. Da beginnt die ausschließliche Herrschaft der Tierwelt, die alle Räume des Weltmeeres von seiner Oberfläche bis in die tiefsten Abgründe, wo ewige Finsternis und eine vom Nullpunkt kaum sich entfernende Kälte an den Polen wie unter dem Äquator herrscht, vollkommen in Besitz genommen hat. Zahlreiche derselben, und zwar Vertreter der verschiedensten Gattungen, wie Infusorien, Quallen, Haarsterne, Seesterne, Würmer, Manteltiere, Krebse, Tintenfische und alle möglichen Knorpel- und Knochenfische, sind mit eigenen Leuchtorganen zur Entwicklung eines meist grünlich phosphoreszierenden Lichtes versehen. Dabei sind die Augen entweder sehr groß, um möglichst viel des so sehr spärlichen Lichtes aufzufangen oder sie sind ganz verkümmert.

Brandung an den Kreidefelsen bei Dover.

Digitized by Google

Dafür sind diese blinden Tiere mit langen Tasthaaren und anderweitig gut ausgebildeten Sinnesorganen versehen. Vereinzelt erscheinen bereits Merkmale der Tiefseefische bei Bewohnern der Wasserschichten von 140 bis 220 m Tiefe, indem bei ihnen die schwarze Färbung des Schlundkopfes auftritt, die sich dann in größeren Tiefen auf alle Körperhöhlen ausdehnt. Dabei herrschen bei den eigentlichen Tiefseeformen die einfachen weißen, schwarzen, bläulichen und rötlichen Farben vor.

Die Tiefsee ist für viele Tiere eine Zufluchtsstätte geworden, wo der Kampf ums Dasein weniger erbittert herrscht und wo sie sich von den ältesten Zeiten der Entwickelung bis zur Gegenwart fast unverändert erhalten konnten. Ist doch der Meeresboden von allen Teilen der Erde am wenigsten Veränderungen ausgesetzt. Die in den Meeren der Vorwelt, besonders der mesozoischen Periode, so überaus reich entwickelten Haarsterne haben heute die zahlreichsten Vertreter in Tiefen von 200 bis 4500 m. Auch die in den ältesten fossilführenden Schichten so häufigen und einst in sehr zahlreichen und mannigfaltigen Arten die Meere der Vorzeit bewohnenden Brachiopoden oder Armfüßer, die äußerlich zweischaligen Muscheln gleichen, nur daß sie eine Bauch- und Rückenschale, statt zwei Seitenschalen, wie jene, besitzen, sind heute fast ausschließlich Tiefseebewohner. Dort auch haben sich die Eryoniden, gewisse Krebse, deren Verwandte besonders zur Jurazeit eine große Rolle spielten, bis heute erhalten.

„Es ist eine Wirkung desselben Schutzes“, sagt Ratzel an einer anderen Stelle, „wenn die Repräsentanten einiger in allen Tiefen des Meeres vertretenen Gruppen gerade als Tiefseeformen so große Dimensionen annehmen wie Bathynomus, eine Assel von 23 cm, Colossendeis, ein Pycnogonide d. h. eine Krebsspinne von 70 cm Spannweite, Gnathophausia, ein Riese unter den Schizopoden, den in der Regel ganz winzigen spaltfüßigen Krebsen, der 25 cm erreicht. Eine Besonderheit des Tier- und Pflanzenlebens im Meere ist auch sonst die verhältnismäßig große Zahl von mächtig ausgebildeten Arten. Die größten Walfische, die 20 m erreichen, sind überhaupt die größten Säugetiere der Gegenwart. Mondfische, Orthagoriscus Mola, von 300 kg werden auf der hohen See gefangen. Tintenfische von einer Größe, die man früher für fabelhaft hielt, sind tatsächlich gefunden, und darunter Formen, wie Ommatostrephiden, von 12 m Durchmesser sind beobachtet worden. In der Grönlandsee und an Spitzbergens Küste hat man Riesentange gefunden, die 150 m in die Tiefe reichen.

Die ungeheure Individuenmenge einzelner beschränkter Arten ist

das äußerlich hervortretendste Merkmal der pelagischen Lebewelt. Man muß den Gegensatz der pelagischen und Tiefseeformen gleicher Gruppen festhalten, um dieses Merkmal in seiner vollen Bedeutung zu verstehen. So sind 98 Prozent, vielleicht sogar 99 Prozent der lebenden Foraminiferen Tiefseewesen, die nicht schwimmen, sondern auf dem Sand- und Schlammboden der Tiefsee wohnen. Nur 8—9 Gattungen leben an der Oberfläche des Meeres, treten aber in solchen Massen dort auf, daß sie für das Tierleben des Ozeans in weiten Gebieten bestimmend werden. Die kleine Schnecke Clio, ein schalenloses, durch zwei flügelartige Hautlappen langsam durch das Wasser schwebendes Tier ist dort so zahlreich, daß sie dem Walfisch zur Nahrung dient. Den Massenentwickelungen scheinen die kalten Meere günstiger zu sein als die warmen. Von Radiolarien kommen die größten Massenanhäufungen bei beschränktem Formenreichtum in den kalten, dagegen die größte Entwickelung verschiedenster Formen in den warmen Meeren vor."

Die an der Oberfläche des Meeres treibenden Organismen treten oft in solchen Mengen auf, daß sie das Meer verfärben. So sind weite Strecken im grönländischen Meere von Diatomeen oder Kieselalgen grün gefärbt. In der Südsee erscheinen manchmal weite Strecken des Meeres durch eine Ansammlung von Salpen ebenfalls grün, bisweilen auch blau gefärbt. Der kalifornische Meerbusen ist nicht selten von winzigen roten Krebschen, das rote Meer von roten einzelligen Algen rotgefärbt. Nachts erscheint das Meer oft ganz milchfarbig und erzeugt bei jeder Bewegung ein intensives, von kleinen, jedwede Reizung durch Aussenden von phosphoreszierendem Licht beantwortenden Organismen, erzeugtes ‚Meeresleuchten'. Dabei sind alle pelagischen, d. h. die Hochsee bewohnenden Tiere blau gefärbt wie das Meer oder ganz durchsichtig, so daß sie in dem Medium, in welchem sie leben, ganz verschwinden und damit aufs beste vor ihren Feinden geschützt sind.

Wie das Leben in der Salzflut seinen Anfang nahm, so sind auch jetzt noch die meisten das Wasser bewohnenden Tiere vollkommen auf dasselbe angewiesen, indem das Salzwasser endosmotisch in den Körper aufgenommen wird. Deshalb stirbt die Qualle fast sofort in Berührung mit dem Süßwasser, das die in ihren Körper aufgenommenen Meersalze auslaugt und ihr so das Substrat zum Leben entzieht. Erst die derbere Haut von Reptilien und Fischen setzt dem Eindringen von Salzwasser mehr Widerstand entgegen, so daß sie sich mit der Zeit über das Brackwasser auch in das Süßwasser verbreiten konnten. So wurden die süßen Binnengewässer nach und nach vom Meere aus mit

allerlei sich von der Salzflut emanzipierenden Lebewesen bevölkert, die aber teilweise noch immer ihre Verbindung mit der alten Urheimat aufrecht erhalten haben.

So ist der Aal ein Meerfisch, der nur in der Tiefsee laicht, wo sich auch seine vollkommen durchsichtigen Larven, dem erwachsenen Zustande durchaus unähnlich als sogenannte Leptocephalen oder Schmalköpfe, die man bis vor einem Jahrzehnt für eine besondere Tierart hielt, entwickeln. Das Aufsteigen derselben in die oberen Wasserschichten von 200 bis 300 m unter dem Wasserspiegel und ihr Eintritt in eine mehr planktonische Lebensweise deuten die beginnende Umwandlung der Larve in den eigentlichen Fisch an. Sobald die Jungbrut eine Länge von 8 bis 9 cm erreicht hat, wandern die noch vollkommen unentwickelten Weibchen im Vorsommer in dichten Scharen in die Flüsse und sonstigen Binnengewässer ein, um hier, wo die Lebensbedingungen für sie günstigere als im Meere zu sein scheinen, zu leben. Sind sie völlig ausgewachsen, so wandern sie mit noch ganz unentwickelten Geschlechtsdrüsen zum Meere zurück, wo die ebenfalls noch unentwickelten an den Flußmündungen lebenden Männchen auf sie warten. Mit ihnen gemeinsam wandern sie dann in die Tiefsee zurück, um dort beide auszureifen und sich nach erlangter Reife fortzupflanzen. Da nun die Aale sämtlicher in die Ost- und Nordsee einmündender Gewässer Mittel- und Nordeuropas ein ihren Bedürfnissen entsprechendes Tiefseegebiet erst im Atlantischen Ozean finden, so folgt daraus mit Sicherheit, daß unsere Flußaale bis in den Atlantischen Ozean wandern müssen, um zu ihren Laichgründen zu gelangen.

Unter diesen Umständen erklärt es sich auch zwanglos, daß die in den Herbstnächten meerwärts ziehenden Aalweibchen noch keine merkbare Schwellung ihrer Geschlechtsdrüsen zeigen. Offenbar tritt die Entwicklung derselben erst mit dem Eintritt der langen Meereswanderung in ein rascheres Tempo ein, so daß das Laichen bereits im Dezember erfolgen kann, worauf man schon Ende Januar Leptocephalen aus der Tiefsee des Atlantischen Ozeans heraufholen kann. Schon zu Ende Februar kann man dann inmitten der Nordsee, z. B. auf der großen Fischerbank Scharen von Jungaalen antreffen, die nach beendigtem Larvenstadium bereits den Küstengebieten zustreben. Der überaus lange von ihnen in den Flachsee zurückzulegende Weg erklärt uns ganz folgerichtig, weshalb sie erst Ende April oder spätestens im Mai in die Flüsse des Festlandes hineingelangen können. Da also der fortpflanzungsfähige Aal ein ausgesprochener Tiefseefisch ist, begreifen wir

auch sehr wohl, warum wir ihn in allen deutschen Gewässern, mit Ausnahme der Donau und deren Zuflüsse, finden. Weil das Schwarze und das Kaspische Meer keine Tiefsee besitzen, fehlen die Aale begreiflicherweise in allen Gewässern, die sich in sie ergießen. Im übrigen kommen sie vom 64. bis 65. Grad nördlicher Breite in ganz Europa und auch im Gebiete des Mittelländischen Meeres vor, und vom Atlantischen Meere, ihrer Heimat, sind sie gleicherweise auch, soweit sie Weibchen sind, in den nordamerikanischen Flüssen verbreitet. An den Küsten des Stillen Ozeans fehlen dagegen die Flußaale, während dort, wie bei uns, zahlreiche Meeraale vorkommen.

Umgekehrt wie der Aal verhält sich der Lachs, der als ein ausgesprochener Süßwasserfisch seit der Eiszeit, jedenfalls infolge starker Aussüßung der den Flußmündungen zunächst liegenden Meeresabschnitte durch die Schmelzwässer derselben, wieder angefangen hat, seiner ursprünglichen Heimat, dem Süßwasser, abtrünnig zu werden. Daß das Süßwasser seine ursprüngliche Heimat ist, beweist, daß er nur darin laicht. So lebt der Lachs im Meere in der Nähe desjenigen Flusses, in dem er geboren wurde, als ein überaus gefräßiger Räuber und mästet sich an dem für ihn dort reich mit allerlei Krebstieren und Fischen gedeckten Tisch, bis er geschlechtsreif geworden ist. Dann verläßt er das Meer, um in seinen Heimatfluß einzuwandern und an sandigen Stellen der Quellzuflüsse desselben zu laichen. Im Frühjahr, von März bis Mai, wenn das Eis der Ströme aufgeht, steigen die erwachsenen Tiere in Gesellschaften von 30 bis 40 Stück flußaufwärts. In diesem frischgemästeten Stadium sind sie fett, haben ein festes rötliches Fleisch und werden dann im Rheingebiet als ‚Salm' bezeichnet. Ihre Geschlechtsdrüsen entwickeln sich erst gegen den Winter zu, und so lange sie im Süßwasser leben, also 6 bis 10 Monate, fressen sie überhaupt nichts; ihr Magen ist stets leer, ja er sondert nicht einmal ein verdauendes Sekret ab. Während dieser Fastenzeit zehren die Fische von ihrem eigenen Fett, das sie im Meere gesammelt haben; dabei reifen die Sexualprodukte allmählich heran. Die Stoffe für die Bildung derselben, die beim Weibchen schließlich ¼ des Gesamtgewichtes des Fisches betragen, stammen ausschließlich aus den seitlichen Rumpfmuskeln. Die für die Existenz durchaus unentbehrlichen Muskeln, wie die Flossen- und Kiefermuskeln, bleiben dagegen völlig vom Schwund unberührt. Die sich zugunsten der Eier, beziehungsweise Samenfäden abbauenden Rumpfmuskeln erscheinen blutarm und erhalten wenig Sauerstoff, der dafür in Menge mit dem Blut den sich energisch aufbauenden Geschlechtsprodukten zuströmt.

Naht sich im Herbst die Laichzeit, dann verändert sich das Aussehen der Lachse bedeutend. Sie bekommen wie die meisten anderen Tiere ihr Hochzeitskleid. Die ganze Färbung wird dunkler, und es erscheinen auf den Seiten und auf den Kiemendeckeln rote Flecken. Bei alten Männchen färbt sich der ganze Bauch purpurrot und zahlreiche rote Flecken erscheinen am Kopfe. Von Oktober an bis zum Januar sucht sich das Weibchen eine geeignete Laichstelle aus. Beim Suchen derselben wird es gewöhnlich von einem großen und mehreren kleinen Männchen begleitet. Hat es eine zur Eiablage günstige, seichte, kiesige oder sandige Stelle gefunden, so höhlt es mit der Schwanzflosse eine ziemlich flache, aber weite Mulde aus und legt seine Eier darin ab. Dann kommen gleich die in der Nähe Wache haltenden Männchen und ergießen ihren als Milch bezeichneten Samen über die Eier, den sogenannten Rogen, worauf das Weibchen wiederum durch Bewegungen seiner Schwanzflosse die nunmehr befruchteten Eier mit etwas Sand zudeckt. Das anfänglich von Eiern strotzende Weibchen wiederholt diese Prozedur noch einige Male und streicht seinen von Eiern gefüllten Leib bald hier, bald dort gegen den kiesigen Grund und dadurch gehen die Eier ab, die sofort, auch von den anwesenden Junglachsen, besamt werden. So legt es, immer unter Aufsicht des großen Männchens, innerhalb ungefähr einer Woche alle Eier ab.

Nach Beendigung des Laichgeschäftes kehren die abgemagerten Tiere langsam wieder zum Meere zurück und werden nunmehr am Rhein als Lachse bezeichnet, deren Fleisch nicht mehr rot und fest, sondern weiß und wässerig-weich erscheint und als Genußmittel sehr minderwertig ist. Der Unterkiefer verlängert sich, besonders bei den Männchen, zu einem aufwärts gekrümmten Haken, sodaß die Kinnladen nicht mehr recht schließen. Matt und ausgehungert, vor Entkräftung sich oft nur noch vom Wasser treiben lassend, kommen sie ans Meer zurück, wo sie durch erhöhte Freßgier in kurzer Zeit den Verlust wieder vollständig decken und sich erstaunlich rasch nicht nur erholen, sondern auch wieder mästen. So wurden, wie man durch Versuche mit gezeichneten Fischen ermittelt hat, 2 bis 2 $^1/_2$ kg schwere Lachse im Meere innerhalb zweier Monate 7 bis 7 $^1/_2$ kg schwer. Diese überaus rasche Zunahme erklärt sehr wohl, daß sie nach wenigen Wochen Aufenthalt im Meere größer und kräftiger als zuvor wiederum in die Flüsse aufsteigen, um für die Fortpflanzung ihrer Art zu sorgen.

Die befruchteten Eier entwickeln sich überaus langsam, und es dauert 3 bis 4 Monate bis die 1 cm langen, mit großem Dottersack versehenen

Jungen ausschlüpfen. Während des ersten Lebensjahres wachsen die von sehr zahlreichen Raubfischen und anderen stets hungrigen Tieren verfolgten jungen Lachse nur langsam, im zweiten Jahre dagegen werden sie schon bis ½ m lang und nun reisen sie, von einem altererbten geheimnisvollen Drange getrieben, dem Meere zu. Dort halten sie sich in großen Scharen wochenlang an den Mündungen der Flüsse auf, bis sie sich nach und nach an das ihnen zunächst ungewohnte Salzwasser gewöhnt haben und dringen von da weiter ins Meer hinaus, wo für sie reicher als im Süßwasser die Tafel gedeckt ist. Nur verhältnismäßig kurz ist hier ihr Verweilen. Gemästet beginnen sie ihr völlig an das Süßwasser gebundenes Laichgeschäft in ihrer alten Heimat, den Flüssen. Im ganzen nordatlantischen Gebiete häufig, fehlen sie in allen Flüssen, die sich in das Mittelländische Meer ergießen.

Gleicherweise treibt es der zur überaus altertümlichen Familie der Schmelzschupper gehörende Stör, der im Atlantischen Ozean und seinen Nebengewässern bis zur Ostküste Nordamerikas, wie auch, im Gegensatz zu jenen, im Mittelländischen Meere lebt und gewöhnlich eine Länge von 2 m, in Ausnahmefällen aber auch eine solche bis zu 6 m erreichen kann. Wie der Lachs lebt er in den den Flußmündungen benachbarten Gründen des mitteltiefen Meeres auf sandigem oder schlammigem Grunde und nährt sich dort von den verschiedensten Kleintieren, die er mittels seiner spitzen Schnauze aus dem Schlamme aufwühlt und mit den vorstreckbaren Lippen erfaßt. Selten kommt er in höhere Wasserschichten hinauf. Hier erscheint er erst im März, wenn die Laichzeit herannaht. Dann zieht er scharenweise den Flußmündungen zu, in welche er eindringt, und weit flußaufwärts schwimmt. Wenn er hier in den Quellgebieten in ruhigem Wasser seine Eier abgelegt hat, kehrt er rasch in das Meer zurück, während die ausgekommenen Jungen längere Zeit, bis zwei Jahre, in den Flüssen verweilen. Vielfach treten die Störe gegen Wintersanfang eine zweite Wanderung in die Flüsse an, um dort, als den ruhigeren Gebieten, zu überwintern, wobei sie, zu großen Trupps vereinigt, ihre Köpfe in den Schlamm bohren, den Körper mit dem Schwanzende nach oben richten und ziemlich regungslos die kalte Zeit hindurch, während welcher der Stoffwechsel bedeutend herabgesetzt ist, in dieser merkwürdigen Stellung verharren.

Im Schwarzen Meer, infolgedessen auch in der Donau und deren Zuflüssen, und im Kaspischen Meer fehlt der Stör, wird aber dort durch den kleinen, selten mehr als 1 m Länge und höchstens 12 kg Gewicht erlangenden Sterlet und den bis 15 m langen und 1000 bis 1600 kg

schweren Hausen, dem Riesen der Gattung, ersetzt, von dessen Eiern die Russen ihren vielbegehrten Kaviar bereiten. Wäre des letzteren Fruchtbarkeit nicht so enorm — man hat schon weibliche Hausen gefangen, die 400 kg Eier, das sind etwa 3 Millionen, in sich bargen — so wäre er infolge der rücksichtslosen Verfolgung durch den Menschen schon längst ausgestorben, wie seine besonders in der mesozoischen Zeit zu hoher Blüte gelangten nächsten Verwandten.

Überall ist die Brackwasserfauna eine Vorstufe und ein Übergang von der rein marinen zur Süßwasserfauna. So ist sie typisch in den Ästuarien d. h. in demjenigen Teile im Unterlaufe eines Flusses vorhanden, der noch unter dem Einflusse des Meeres steht. Hier schiebt die Flut in der Tiefe das spezifisch schwere salzige Wasser des Meeres vor, während das leichtere Süßwasser an der Oberfläche abströmt und sich nur in den unteren Schichten teilweise mit dem Salzwasser mischt. Je größer die Gezeiten sind, um so weiter flußaufwärts dringen sie. So sind sie im Ganges 110 km, im Hudson 230 km, im Amazonas 700 km, im Yangtsekiang sogar 800 km von der Mündung noch zu verspüren. Damit wird das Eindringen von Meerestieren ins Süßwasser erleichtert. Einmal an das brackische Wasser des Ästuariums gewöhnt, wird das weitere Vordringen in reines Süßwasser nicht mehr auf allzu große Schwierigkeiten stoßen.

So besuchen eine ganze Anzahl von Meerfischen nicht nur das süße Wasser an den Flußmündungen, sondern sie haben sich vollständig im Süßwasser eingebürgert. Dahin gehören einige Selachier oder altertümliche Knorpelfische, die die warmen Flüsse der Tropen besiedelt haben, z. B. Katzenhaie im Ganges und in den südamerikanischen Flüssen, Rochen in zentralafrikanischen Strömen, Schwertfisch und Sägehai in den Flüssen Westaustraliens. Dann Schollen in der Weser und im Rhein bis Mainz, in der Mosel bis Metz, der Nadelfisch in algierischen und indischen Flüssen, der Kugelfisch im Nil. Und zwar ist letzterer vom Roten Meer her eingewandert, als der Nil zu Beginn der Quartärzeit noch mit ihm in Verbindung stand.

Im süßen See von Acqua bei Padua züchtet man seit langem den Seebarsch und die Meeräsche, beides sonst reine Salzwasserfische. Auch ein als Mysis vulgaris bezeichneter gemeiner kleiner Krebs der Ostsee wird in fast salzfreien Tümpeln gefunden. Die ursprünglich im salzigen Kaspisee heimische Wandermuschel ist durch die Schiffahrt in alle größeren Flüsse und Kanäle Europas bis nach Schottland hinauf verschleppt worden und hat sich dem Süßwasser vollständig angepaßt. In der

Rheinmündung wurde sie im Jahre 1826 zuerst gesehen; von da gelangte sie mit den Schiffen bis Basel, wo die Flußschiffahrt ein Ende hat, in Schwaben den Neckar hinauf bis Heilbronn. Eine kleine Meduse, die zu der gegen das Süßwasser höchst empfindlichen Familie der Hydrozoen oder Quallen gehört, ist in fast ausgesüßten Tümpeln der Insel Trinidad gefunden worden, ebenso im Tajo in Spanien, in südamerikanischen Sümpfen und in der Ostsee.

Auch sehr viele Meeressäugetiere scheinen gelegentlich ins Süßwasser zu gehen. So hat man einige 10 m lange Walfische bei London, einen Delphin bei Bonn, Seehunde in der Weser, im Rhein bis Basel und in anderen Flüssen gefunden. Im Ladoga- und Omegasee sind sie ganz eingebürgert. In den Flüssen Indiens, besonders im Indus, Ganges, Brahmaputra, Irawadi und Amur leben von Fischen und Krebsen sich nährende, vollständig dem Süßwasser angepaßte Schnabeldelphine, die schon Plinius als in Indien lebend unter dem Namen Platanista erwähnt und die nach seiner Beschreibung 7 m lang werden sollen. Alle Flüsse Südamerikas zwischen dem 10. und 17. Grad südlicher Breite bewohnt ein meist nur in kleinen Gesellschaften lebender Delphin, dessen Körperlänge zwischen 2 und 3 m schwankt. Ja Bates berichtet, daß der Amazonenstrom von mindestens drei verschiedenen Delphinarten besiedelt sei und daß man an den breiteren Stellen des Strombettes von seiner Mündung an bis 2325 km stromaufwärts beständig, besonders nachts, die eine oder andere Art rollen, blasen und schnarchen höre, daß gerade diese Laute nicht wenig dazu beitragen, im Reisenden das Gefühl der Meeresweite und Meeresöde hervorzurufen.

Wie die Krokodile während der ganzen mesozoischen Zeit reine Meerbewohner waren und erst zu Beginn der Tertiärzeit im Süßwasser ein Asyl vor den ihnen nicht dahin folgenden Riesenhaien fanden, so ist gleich der Tiefsee auch das Süßwasser eine Zufluchtsstätte für gar manche Tiere geworden, die wir gar nicht alle aufzuzählen vermögen. Wir erinnern nur an die Lurchfische und Schmelzschupper unter den Fischen und die Branchiopoden oder Kiemenfüßer unter den Krebsen. Ja, die ganze Klasse der Amphibien bewohnt nur das Süßwasser. Eine marine Seeschlange mit Ruderschwanz hat Semper im Süßwassersee Taal auf Luzon gefunden und in demselben See traf er noch verschiedene andere Meerestiere in Gesellschaft von echten Süßwassertieren. In der Kiemenhöhle des heute vollkommen an das Süßwasser angepaßten und ausschließlich in ihm lebenden Krebses

Palaemon, der einzigen süßwasserbewohnenden Gattung einer Meeresfamilie, haust ein Schmarotzerkrebs Bopyrus, die einzige Süßwasserart ihrer ganz das Salzwasser bewohnenden Familie, die unfreiwillig mit dem sie beherbergenden Wirte sich dem Leben im Süßwasser anpaßte. Ja sogar von den ganz ausschließlich die Salzflut bewohnenden Schwämmen haben sich einige wenige, von den Hydroidpolypen als

Fig. 131. Ufer des Yukonflusses in Alaska (N.-A.) nahe der Mündung mit großen Blöcken, welche gestrandete und dann zum Abschmelzen gekommene Eisblöcke, die von gewaltigen in ihn kalbenden Gletschern abgestoßen wurden, hier bei Hochwasser zurückließen. Das strömende Wasser allein wäre nie imstande gewesen, solche Blöcke mit sich hinabzuwälzen.

einzige Art der winzige Süßwasserpolyp, in dem ihnen ursprünglich geradezu feindlichen Süßwasser angesiedelt.

So wenig in der Regel der plötzliche Übergang aus Salzwasser in Süßwasser von den Tieren ertragen wird, so leicht gewöhnen sich viele Salzwasserbewohner an den allmählichen Übergang durch langsame Aussüßung ihres Wassers im Bereiche der Flußmündungen. Kennel beobachtete auf Trinidad im Ortoirefluß, in den die Flutwelle tief eindringt, eine auffallend große Anzahl von Meerestieren, Seekrebsen, Borkenwürmern und Miesmuscheln, die in dem fast ganz ausgesüßten Zwischengebiete leben, wo die Flutwelle den Fluß zweimal täglich zum Stehen bringt. Erwachsene Austern leben, gelegentlich in das Süß-

wasser gelangend, darin weiter, während ihre viel empfindlicheren, durch einen Flimmerüberzug sich von der Stelle bewegenden Larven nur im Salzwasser zu bestehen vermögen.

Unter diesen im Süßwasser gefundenen Meerestieren sind allerdings viele Bewohner von sogenannten Reliktenseen, d. h. von Seen, die ursprünglich Meeresteile waren und durch Hebung des Landes vom Meere abgeschnitten und allmählich ausgesüßt wurden. So findet sich der Seehund im Aral- und Baikalsee, in welch letzterem auch eine Spongie, ein Schwammtier, lebt, dessen Herkunft aus den arktischen Meeren nachgewiesen ist. Herzmuscheln und andere echt marine Muscheln leben im Kaspischen Meere, Quallen und andere Meerestiere im Tanganjikasee und wahrscheinlich auch in den übrigen großen afrikanischen Seen. In den skandinavischen und schottischen Seen finden sich verschiedene marine Tiere als Relikte, ebenso in den norditalienischen Seen, besonders im Gardasee, wo neben allerlei sonst marinen Fischen eine spezifische Meeresgarneele vorkommt. Alle diese Wasseransammlungen sind nämlich alte Fjorde, die durch Hebungen des Landes vom Meere abgeschnitten wurden. So haben wir marine Relikte im Tiberiassee wie in den nordamerikanischen Seen, im See von Nicaragua, in verschiedenen Seen Neuseelands; desgleichen finden sich marine Schnecken und eine Herzmuschel häufig in den Tümpeln der Sahara. Auch der zentralafrikanische Tsadsee ist ein Reliktensee mit einer Seekuh, dem Lamantin. Manche kleinere Tiere wie Wasserpflanzen werden gelegentlich durch Vögel verschleppt, andere wanderten während der wasserreichen Eiszeit aus dem Norden nach dem Süden ein. So finden sich in den alpinen Randseen der Schweiz echt marine Strudelwürmer und Nemertinen.

Umgekehrt gibt es eine ganze Anzahl von Tieren, die aus dem von ihren Ahnen vor Millionen von Jahren eroberten Süßwasser wieder rückläufig ins Salzwasser übergingen. So laichen Frösche an der Ostsee bei Greifswald. Wasserkäfer, Wasserspinnen, Wasserwanzen, Fliegenlarven, deren nächste Verwandte dem Süßwasser angehören, bewohnen in einigen Formen auch das Meer. Schnecken von der Süßwassergattung Planorbis und Limnaea kommen bisweilen auch im Meere vor, ebenso Borstenwürmer aus der Süßwassergattung der Oligochäten. Die gemeine Schwimmschnecke des Süßwassers, Nerita fluviatilis, findet man in der allerdings nach Osten zu besonders in den obersten Wasserschichten immer schwächer salzhaltigen Ostsee.

Der Übergang von dem einen Wasser in das andere bringt oft beträchtliche körperliche Veränderungen mit sich. In Lagunen, die Süß-

wasserzuflüsse haben, nehmen die Lebewesen Formen an, welche an die der halbsalzigen Meere erinnern. So sind viele Tiere im Etang de Berre an der Rhonemündung hauptsächlich in der Größe reduziert, so besonders Krustentiere und Würmer. Seeigel wandern als Larven von der hohen See ein und erreichen nur ein Drittel ihrer normalen Größe. Aber auch künstlich ist es durch Versuche gelungen, im Wasser durch größere oder kleinere Salzzutaten verschiedene Formen, die früher von den Zoologen als ganz verschiedene Arten beschrieben worden waren, aus demselben Stamme zu züchten.

Die Küstenzone, in der nicht nur das Süßwasser und Salzwasser, sondern auch das Salzwasser mit dem daran angrenzenden Lande in Wechselwirkung tritt, ist für die Weiterentwicklung und Vervollkommnung der Lebewesen von der fundamentalsten Bedeutung gewesen. Überaus treffend sagt deshalb Prof. Konrad Keller in Zürich in seinem Buche ‚Das Leben des Meeres‘: „Das Wasser ist das Reich des Gleichmaßes, das Land das der Gegensätze und Schwankungen. Daher konnte nur auf dem Lande die Entwicklung der höheren Pflanzen und der fortschrittlichen höheren Tiere vor sich gehen, und zwar sind alle größeren Fortschritte, die unser Planet kennt, erworben worden unter der Wechselwirkung von Wasser und Land. In der Grenze zwischen Wasser und Land ist auch der Beginn des Lebens überhaupt zu suchen, weil nur da die unausgesetzte Veränderung des Stoffwechsels und der Atmung möglich war.“

XI.

Der Kreislauf des Wassers.

Die Meere sind die großen Reservoire, in welchen sich alles Wasser der Erde mit den in ihm aufgelösten Salzen sammelt. Durch beständig vor sich gehende Verdampfung werden die in ihm enthaltenen Salze immer mehr eingedickt. Je stärker diese Eindampfung ist, um so konzentrierter wird die Salzlösung. Deshalb weist das Mittelmeer größeren Salzgehalt auf als der offene Atlantische Ozean, nämlich 3,8 gegen 3,5 und im östlichen Abschnitt sogar 3,9 Prozent, während der nördliche Teil des Roten Meeres 4,0 und in der Bai von Sues sogar 4,2 Prozent Salz besitzt. Ja, im abgeschlossenen und überaus stark verdampfenden Kaspischen Meere steigt der Salzgehalt, der an der Wolgamündung nur 0,15 Prozent beträgt, im Süden bis 5,6 und in der großen, gegen die asiatische Seite zu liegenden Bucht Karabugas bis auf 28,5, so daß in ihm, wie wir gesehen haben, das Salz teilweise zur Ausscheidung gelangt.

Während die Nordsee durchschnittlich 3,3 Prozent Salze besitzt, wird das Wasser in der Ostsee um so salzärmer, je weiter man sich von seinem Auslauf gegen die Nordsee entfernt und je mehr man sich den sein Wasser stark aussüßenden großen Flüssen im südöstlichen Teile nähert. Wegen des in die Tiefe einströmenden, spezifisch schweren Nordseewassers, auf welchem das süßere von Osten und Süden her einströmende Wasser schwimmt, steigt der Salzgehalt nach der Tiefe zu. Während so noch im Oresund bei Helsingfors der Salzgehalt an der Oberfläche nur 0,92 Prozent beträgt, ist er in 36 m Tiefe schon 3,35 Prozent. Im großen Belt ist der Salzgehalt des Oberflächenwassers bis zu 17 m Tiefe nur 1 Prozent, dann steigt er, sobald man in 20 m Tiefe auf den salzreichen Nordseestrom trifft, bis zu 3 Prozent am Boden. Wegen der starken Aussüßung durch die zufließenden Ströme ändert sich namentlich

im westlichen Teile der Ostsee der Salzgehalt mit den Jahreszeiten. Er ist geringer nach reichen Niederschlägen und der Schneeschmelze, so besonders im Frühjahr, und wird sogar durch die Windverhältnisse beeinflußt.

Gegenteilige Verhältnisse wie in der Ostsee finden wir im Mittelmeer, wie überhaupt in allen Meeren, wo die Abdunstung stark über die Wasserzufuhr überwiegt. Dort sind vielfach die stark erwärmten, abdampfenden Oberflächenschichten salzreicher als die tieferen. In der Nordsee, wo die Verdampfung stark an Bedeutung zurücktritt, ist dies nie der Fall. Da sind die Oberflächenschichten stets salzärmer, und zwar gegen die Küsten zu stärker als gegen den offenen Ozean. In der längs der norwegischen Küste verlaufenden tiefen norwegischen Rinne wechselt der Salzgehalt sehr mit der Tiefe. Er ist an der Oberfläche 2,8, in 4 m Tiefe 3,4 und in 100 m Tiefe 3,5 Prozent. Es verläuft also an der Südwestküste von Schweden über dem eigentlichen in der Tiefe befindlichen Nordseewasser eine salzarme Strömung, die das Wasser der Ostsee abführt. Der den Küsten entlang zufolge der jährlichen Verdunstung und der Wasserzufuhr durch die Flüsse schwankende Salzgehalt besitzt eine sehr große ökonomische Bedeutung, da er für die Wanderungen der Fische, speziell des Herings, welcher auf seinen Laichzügen einem Wasser von 3,2 bis 3,3 Prozent Salz folgt, maßgebend ist und so hochgradig durch diesen Fisch den Nationalreichtum mancher Küstenstrecken beeinflußt.

Zahlreiche Meerfische erzeugen Eier, die an der Oberfläche des Wassers schwimmen müssen, um sich richtig entwickeln zu können. Zu ihnen gehören in erster Linie die verschiedenen Plattfische, wie Flundern, Schollen, Seezungen und Butte, aber auch der Schellfisch. Diese können nie in ausgesüßtem Wasser, sondern nur in der salzigen Hochsee laichen, deren Salzgehalt hinreicht, die durch ihren Ölreichtum einen Auftrieb erfahrenden Eier als winzige Kügelchen von 1 mm Durchmesser nahe der Oberfläche schwebend zu erhalten. So bergen in den Monaten zwischen Januar und Mai die Oberflächenschichten der Nordsee Trillionen freischwimmender Fischeier, aus denen sich kleine Fischchen entwickeln, die sich nach Aufzehren der von der Mutter mitgegebenen Dottermasse von winzigen Spaltfußkrebschen, sogenannten Schizopoden, ernähren, welche zu vielen Hunderten pro Liter Meerwasser umherschwärmen und ihrerseits wieder von Wasserflöhen oder Copepoden und diese von kleinen Schwebepflänzchen, hauptsächlich Diatomeen, leben. Da, wo das Meerwasser nicht genügend salzhaltig ist, um das Schwimmen der verhältnismäßig schweren Eier zu ermöglichen, behilft sich die Natur gelegentlich in anderer Weise. So

laicht in der Ostsee die Flunder in Gebieten von größerer Tiefe; doch erscheinen die Eier daselbst eigenartig vergrößert, als ob ein Aufquellen der Umhüllungen stattgefunden habe. Diese Oberflächenvergrößerung bei gleichbleibendem Gewichte bewirkt, daß die Eier auch in diesem salzarmen Meere schwimmfähig bleiben und damit ihre normale Entwicklung gesichert ist.

Fig. 132. Piz Roseg (3943 m) in der Berninagruppe im Oberengadin von der Tschiervahütte aus aufgenommen. Links erblicken wir den Abbruch des Tschiervagletschers, welcher durch eine Bodenerhebung erzeugt wird, über welche der Gletscher hinüberfließt, wobei er sich in zahlreichen Querspalten öffnet. (Nach Photogramm von J. Kramer.)

Mit dem Salzgehalte des Meerwassers hängen höchst folgenreiche Eigenschaften zusammen: die große Dichtigkeit, der tiefe Gefrierpunkt, der Lebensreichtum und die Masse der vom Meere gebildeten Niederschläge. Außer den bereits erwähnten Salzen, in welchen das Chlornatrium oder Kochsalz weitaus überwiegt und über $^3/_4$, im Mittel 78 Prozent der festen Bestandteile ausmacht, besitzt das Meerwasser, wie neuerdings die Untersuchungen Natterers besonders im Mittelmeer nachgewiesen haben, infolge von beständig in ihm vor sich gehenden Zersetzungen von Seetieren und ölbildenden Diatomeen regelmäßig eine Fett-

substanz, die Glycerin, Akroleïn, teilweise auch Palmitin- und Stearinsäure enthält. Das alkalisch reagierende Meerwasser enthält diese Fette, so lange sie nur in geringer Menge vorkommen, verseift, so daß sie im salzreichen Meerwasser gelöst sind und nur an dem mancherorts auffallend starken Schäumen desselben sich kundgeben. Überall da, wo im Meere so viel Tiere und Diatomeen verwesen, daß es die Fette derselben nicht chemisch zu binden vermag, kommt es unter der Schlammdecke zur Bildung von Petroleum. So zeigten Grundproben aus der Gegend von Cypern Natterer einen entschiedenen Erdölgeruch.

Das Verhältnis der Bestandteile des Meerwassers schwankt nach der Tiefe zu. Vor allem wichtig ist die Zunahme der Kohlensäure mit der Tiefe, wodurch die Abnahme der kohlensauren Salze bedingt wird, die durch die Kohlensäure aufgelöst werden. Besonders muß das bis 30° C. erwärmte Wasser tropischer Meere, auch wenn es kohlensäureärmer ist, eine größere Lösungsfähigkeit für diese Verbindungen haben, was bei Umgestaltungen, welche die Korallenriffe erfahren, nicht unwichtig ist.

Eine andere Folge davon ist die verschiedene Zusammensetzung des Meerbodens in verschiedenen Tiefen und besonders das Vorherrschen der tonigen Niederschläge an den tiefsten Stellen. Davon hängt auch die geringere Alkaleszenz des unmittelbar über dem Boden befindlichen Meerwassers ab. Auch der Boden selbst wirkt auf die Zusammensetzung des Meerwassers zurück. Wir sehen, wie in Berührung mit dem Schlick der Flachwassergebiete das Seewasser Veränderungen erfährt, indem nicht nur etwas kohlensaurer Kalk niedergeschlagen, sondern auch giftiger Schwefelwasserstoff gebildet wird, der sich mit dem Eisen des Schlicks zu Schwefeleisen verbindet, dem der Schlick seine blaue Farbe verdankt. Wo zu wenig Eisen vorhanden ist, erscheint der Schwefelwasserstoff frei, wie am Grunde des Schwarzen Meeres; infolgedessen fehlt in ihm das tierische Leben fast gänzlich.

Die Gase der Luft sind im Meerwasser gelöst, das besonders bei stürmischer Bewegung höchst innig mit der Luft in Berührung kommt. Wieviel Luft aufgenommen wird, hängt allerdings auch von der Temperatur und dem Luftdruck, teilweise aber auch vom Salzgehalte ab. Je kälter das Meerwasser ist, desto mehr Luft nimmt es auf, daher ist auch das kalte Tiefenwasser, dem die Meeresströmungen beständig sauerstoffreiche Luft von der Oberfläche der arktischen Gebiete zuführen, die das Leben der Tiefseetiere unterhält und deshalb von ihnen in großen Mengen verbraucht wird, luftreicher als

das warme Oberflächenwasser. Der Stickstoffgehalt wächst mit abnehmender Wärme, doch ist es nicht so mit dem Sauerstoffgehalt, was für die Lebensmöglichkeit der Quintillionen von Lebewesen, die im Meere leben, von der größten Bedeutung ist. Verhält sich das Mischungsverhältnis von Sauerstoff und Stickstoff in der atmosphärischen Luft etwa wie 1:4, so ist es an der Meeresoberfläche wie 1:2, d. h. es löst sich im Wasser doppelt so viel Sauerstoff als Stickstoff. Dieser große Sauerstoffreichtum des Wassers begünstigt in hohem Grade das Leben in ihm.

Die im Meerwasser gelösten Stoffe bestimmen in erster Linie seine Dichte, welche außerdem von der Wärme abhängig ist. Die Wärmeschwankungen sind im Meere weit geringer als in der Luft. Dabei ist die Temperatur des Meeres in höchstem Grade von den Meeresströmungen abhängig. Wie die Erdoberfläche zeigt auch die Meeresoberfläche einen jährlichen Wechsel derselben, der aber nicht nur 10 m tief, wie dort, sich geltend macht, sondern wegen der Strömungen des Meerwassers bis zu einer Tiefe von 300 m eindringt. Diese Temperaturschwankungen sind höchst gering am Äquator, wo sie nur etwa 1° C. betragen; sie nehmen dann bis auf ein Maximum von 15° C. in 35° Breite zu und sinken dann wieder langsam gegen die Pole zu. Nahe an den Küsten können sie noch größer werden. So erreichen sie im Kattegat 20° C. Im Nordatlantischen Ozean zeigt die östliche Küstenzone wegen des Vorherrschens des Golfstroms eine viel höhere Temperatur als die westliche Küstenzone, wo der kalte Polarstrom nach Süden fließt und durch Abkühlung der darüber befindlichen warmen Luftschichten dichte Nebel erzeugt, die für die Schiffahrt höchst lästig und gefährlich sind.

Die Temperatur des Meeres nimmt gegen größere Tiefen hin allmählich ab und zwar mit zunehmender Tiefe immer langsamer, bis sie am Boden der tropischen Meere +2° C. und am Boden der polaren Meere −2° C. erreicht hat. Die niedrige Temperatur des Bodenwassers rührt von in die Tiefe sinkenden Strömungen kalten Polarwassers her, die zugleich den Sauerstoff für das Leben der Tiefseetiere mit sich in die Tiefe nehmen. In äquatorialen Teilen des Atlantischen und Stillen Ozeans nimmt die Wassertemperatur von der Oberfläche bis zu 200 m Tiefe um 6 bis 8° C. ab, in den nächsten 300 m um etwa 10°, so daß wir von 500 m an bereits einer Temperatur begegnen, die 18° niedriger als an der Oberfläche ist. In 40° nördlicher Breite ist die Abnahme in den ersten

500 m nur halb so groß und sie wird weiter polwärts noch geringer. Dabei ist die Abnahme bis zu etwa 1000 m Tiefe ziemlich regelmäßig. Wenn wir aber in dieser Tiefe die Temperatur von 5 bis 3° C. überschritten haben, so nimmt sie bis zum Boden, wo wir nur wenig um den Nullpunkt schwankende Temperaturen haben, nur ganz unmerklich ab. Es ist also im größten Teil der tiefen, offenen Meere sehr kalt; ja, man kann sogar sagen, daß die Gesamtwärme des Meeres nur etwa 4° C. beträgt.

Wegen der geringen Tiefe der Straße von Gibraltar kann kein kaltes Tiefenwasser, sondern nur warmes Wasser von den oberen 400 m des benachbarten Atlantischen Ozeans ins Mittelmeer gelangen; deshalb

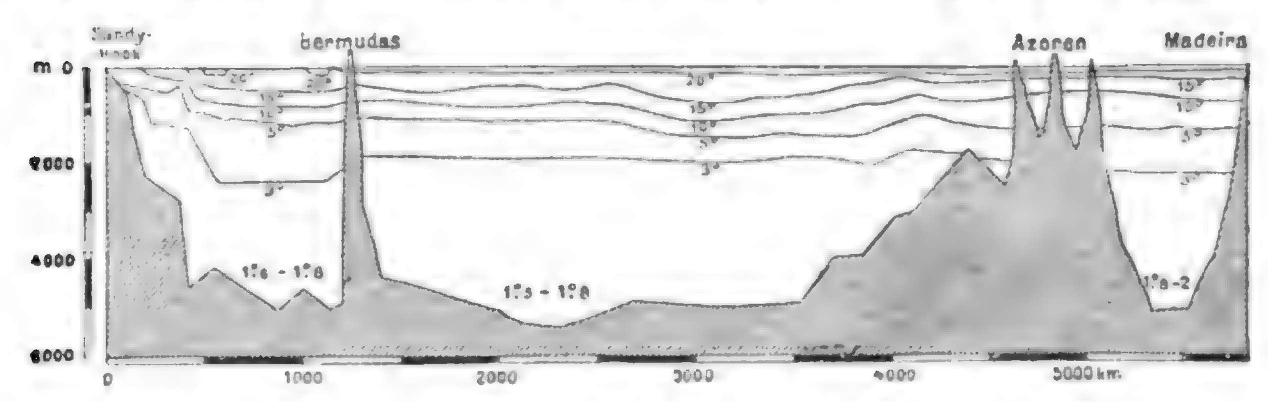


Fig. 133. Wärmeverhältnisse des Meerwassers im Atlantischen Ozean. (Nach Arrhenius).

sinkt die Temperatur darin nicht unter 13° C., was bei etwa 100 m Tiefe erreicht ist. Wir haben also in diesem abgeschlossenen Meeresbecken in einer gewaltigen, bis 4000 m Tiefe erreichenden Wassermasse eine verhältnismäßig hohe Temperatur. Und zwar hat man die niedrigsten Temperaturen von 12,7 und 12,8° zwischen 900 und 1260 m Tiefe im Ägäischen Meere gemessen. Eine ebensolche mittelmeerische Wärmeverteilung hat auch die Sulusee, die ebenfalls allseitig bis 400 m unter dem Meeresspiegel von hohen Wällen umgeben ist. In ihr sinkt die Wärme von der Oberfläche bis 730 m Tiefe und bleibt von hier bis 4600 m Tiefe auf 10,5° C. stehen, während außerhalb derselben bei 1700 m Tiefe die Temperatur schon auf 3° C. gesunken ist.

In seichten Meeren, wie in der Nordsee und in der westlichen Ostsee, die durchschnittlich höchstens 40 m und nur ausnahmsweise bis 100 m tief sind, kann es vorkommen, daß das Wasser in seiner ganzen Tiefe gleich warm ist. So kann die seichtere westliche Ostsee im Winter bis auf den Grund bis zum Dichtigkeitsmaximum ihres Wassers abgekühlt sein, während die östliche, viel salzärmere, immer wärmer bleibt.

In der Karischen See kühlt das von Osten hereintreibende Eismeerwasser am Ende des Winters die ganze Wassermasse bis zum Boden auf — 2,4° C. ab. In den Eismeeren wirken die kalte Luft und die Abschmelzung zusammen, um das Oberflächenwasser abzukühlen, das außerdem durch Schmelzwasser verdünnt wird, so daß es nicht untersinkt. Daher herrschen in den oberen 100 bis 150 m Temperaturen unter Null; diese steigen einige hundert m tiefer bis auf 1—2° über Null, worauf das langsame Sinken bis auf — 0,5 beginnt. Doch steigern vielmals die großen warmen, aus den Äquatorialgegenden herrührenden Wasserströmungen die Unterschiede noch um ein Beträchtliches, wenn z. B. unter die oberflächlich sehr kalten 200 m sich eine 600 m mächtige warme, aus dem Golfstrome stammende Wassermasse einschiebt.

In jedem Meere gehen, auch wenn seine Oberfläche ganz glatt ist, beständig Bewegungen vor sich, die sich summierend eigentliche Meeresströmungen erzeugen. Es gibt nun verschiedene Ursachen, welche eine Zirkulation des Meerwassers erzeugen. In den Äquatorialgegenden bewirkt die starke Sonnenstrahlung eine viel größere Verdunstung als diejenige, welche von der Wasserzufuhr durch die Flüsse und aus den Niederschlägen in Form von Regen gedeckt werden kann. Umgekehrt ist es in den Polargegenden, wo von den Flüssen und den Niederschlägen sehr viel Wasser dem Meere zugeführt wird und die Verdunstung wegen der niedrigen Temperatur außerordentlich gering ist. Es sinken also von den Polen her die kalten Wassermassen in die Tiefe und strömen äquatorwärts; dafür strahlen an der Oberfläche warme Strömungen in der Richtung der vorherrschenden Winde gegen die Pole aus.

Wenn Winde längere Zeit in derselben Richtung wehen, so erzeugen sie durch ihre Stoßkraft ganz ordentliche Wasserströmungen. Jedem Passat und jedem Monsun entspricht eine Strömung an der Meeresoberfläche. Dabei bilden die Hauptströmungen Wirbel, deren Drehrichtung auf der zum Äquator gewandten Seite von Osten nach Westen geht. Die für uns Europäer nicht nur interessanteste, sondern auch höchst wichtige Meeresströmung ist der Golfstrom, der als eine Abzweigung des nördlichen Äquatorialstroms aus dem Golf von Mexiko strömt, woher er seinen Namen hat. In der Yucatanstraße hat er eine Tiefe von nur 400 m und transportiert in 24 Stunden etwa 17000 cbkm — das sind 0,2 cbkm in der Sekunde — 30° C. warmes Wasser, d. h. solches, das 5° wärmer als das umgebende Meer ist. Im Floridakanal ist seine Tiefe etwa 800 m und seine Geschwindigkeit in der Mitte

etwa 220 km im Tag, entsprechend 1,5 bis 2,5 m in der Sekunde. Es sind dies Geschwindigkeiten, die der Rhein bei Koblenz selbst bei Hochwasser, wo er mit 1,88 m in der Sekunde strömt, kaum erreicht.

Der amerikanischen Küste folgend biegt er etwa auf dem 42. Breitegrade nach Osten ab, wobei ein Teil nach Südost abzweigt, während der Hauptteil der norwegischen Küste entlang bis zur Insel Novaja Semlja im Norden fließt. Auf der Höhe von Neufundland übersteigt seine Temperatur diejenige der Umgebung nicht weniger als 10 bis 15° C. im Winter. Da kann man sich leicht denken, welch ungeheuren Wärmevorrat dieser Meeresstrom, der das Polarmeer bis Spitzbergen offen hält, mit sich bringt und welch bedeutenden klimatischen Faktor er dadurch bildet, daß er einen Teil seiner Wärme an die umgebende Luft abgibt. An der Bäreninsel, in der Mitte zwischen Spitzbergen und der norwegischen Küste begegnet er einer polaren Strömung; dadurch bilden sich hier starke Nebel. Durch seine schöne blaue Farbe hebt er sich deutlich vom grünlichen Polarmeere ab.

Im Kuro Schio besitzt der große Ozean eine dem Golfstrom ähnliche Strömung, welche sich ebenfalls durch ihre tiefblaue Färbung vom übrigen Meere unterscheidet. An der japanischen Küste besitzt auch er noch eine Temperatur, welche diejenige des umgebenden Wassers noch um 5 bis 10° C. übertrifft.

Umgekehrt wirken die an der Ostküste Asiens, an Grönland und Labrador vorbei in umgekehrter Richtung als diese beiden warmen fließenden kalten Strömungen die Temperatur bedeutend herabsetzend. So hat der kalte Westwindstrom, welcher der Westküste Südamerikas entlang läuft, noch an der Küste von Peru eine Temperatur, die 12 bis 13° C. niedriger ist als das umgebende Meer. Wie der kalte peruanische sind auch die kalten westafrikanischen und westaustralischen Ströme Schuld an der überaus großen Trockenheit der von ihnen umspülten Länder, während das milde Seeklima und der Regenreichtum von Westeuropa und Skandinavien der für uns ganz unschätzbar wertvollen Golfstromluft zu verdanken sind.

Die wechselnde Dichtigkeit der verschiedenen Schichten von Meerwasser übt nur ausnahmsweise in besonders begünstigten Fällen eine stromerzeugende Wirkung aus. Dies trifft hauptsächlich in den Meeresengen zu, wo zwei Meere mit verschiedenem Salzgehalt aneinanderstoßen, wobei die schwereren nach unten und die leichteren nach oben sich auszubreiten bestreben. Einen solchen Fall finden wir am Kattegat zwischen Nord- und Ostsee, dann auch an der Straße

von Gibraltar und an der Einmündung ins Rote Meer. An letzteren beiden Orten wird die Strömung ganz wesentlich durch die starke Verdunstung hervorgerufen, die eine Eindickung des Meerwassers bewirkt.

Je intensiver die Sonnenbestrahlung und je wärmer das Klima ist, um so energischer ist die Verdunstung an der Meeresoberfläche, wie auch über dem ganzen, oft sehr reichlich mit Wasser durchfeuchteten

Fig. 134. Gipfel des Piz Roseg (3943 m). Im Vordergrund Schneegrat mit überhängender Wächte, dahinter der Hauptgipfel. (Nach Photogramm von J. Kramer.)

und von ihm durchströmten Lande. Deshalb ist die Verdunstungsintensität in den Äquatorialgebieten am größten und sinkt immer mehr, je mehr wir uns den kalten Polen nähern. Die jährlich in den Tropen verdunstende Wassermenge wird von Haughton auf 2,16 m geschätzt. Zu ähnlichen Ziffern ist man für die Verdunstung von Süßwasserteichen in Indien gelangt, nähmlich zu 2,32 m in Madras und zu 1,59 m in dem kühleren Bombay. In den gemäßigten Zonen sinkt dieser Betrag auf 0,4 m herab und ist in den Polargebieten jedenfalls noch weit geringer.

Da der meiste Niederschlag von Wasser in Form von Regen oder Schnee aus dem Ozeane stammt, so muß ebensoviel von diesem zum Festlande transportiert werden, als Wasser durch die Flüsse zum Ozean zurückbefördert wird. Nach den neuesten Berechnungen von Ed. Brückner verdunsten die Meere 386000 cbkm Wasser jährlich, dazu kommt die Verdunstung von peripherischem, d. h. nach dem Meere abfließendem Lande 87000 cbkm und die vom abflußlosen Lande 10000 cbkm; das gibt eine Gesamtverdunstung, gleichbedeutend mit einem Gesamtregenfall der Erde von 483000 cbkm im Jahre, entsprechend einer Wasserschicht, welche die Erdkugel 95 cm hoch bedecken würde. Diese Summe durch 365 dividiert gibt eine tägliche Gesamtniederschlagsmenge von 1320 cbkm Wasser. Von diesem Gesamtniederschlage fällt allerdings weitaus der größte Teil, nämlich 361000 cbkm auf das Weltmeer zurück und nur 122000 cbkm fallen auf Landflächen in Form von Regen oder Schnee und kommen ihm so zur Durchtränkung seines Bodens und zur Möglichkeit einer Entfaltung von Leben zugute.

Je wärmer die Luft ist, um so größere Mengen Wasserdampf kann sie in sich aufnehmen. Da der Wasserdampf spezifisch leichter als die Luft ist, d. h. sich zu ihr wie 0,623 : 1 verhält, so ist feuchte Luft leichter als trockene und steigt um so schneller, je mehr Wasserdampf sie in sich aufgenommen hat. Dies ist eine sehr wichtige Ursache atmosphärischer Bewegungen. Sobald nun warme feuchte Luftmassen aufsteigen, dehnen sie sich aus und kühlen sich gleichzeitig um nahezu 1° C. pro 100 m ab. So erfolgt beim Aufstieg von 1 cbm gesättigter Luft von 10° C. um 1000 m eine Ausscheidung von 2,9 g Wasser in Form von feinen Bläschen, die in ihrer Gesamtheit uns als Wolke erscheinen. Steigt nun die Luft mit einer Geschwindigkeit von 2 m in der Sekunde, so fällt, falls sie mit Feuchtigkeit gesättigt war, über jedem Quadratmeter 348 g Wasser in der Minute, das entspricht einer ausgeschiedenen Wassermenge von 21 kg pro Quadratmeter in einer Stunde oder 21 mm Niederschlagsmenge, was uns als ein sehr starker Regen erscheint. Da nun feuchte Luftmassen häufig bis 1 km aufsteigen, so können sie noch größere Niederschlagsmengen abgeben.

Das in der Luft enthaltene Wasser ist natürlich unsichtbar, so lange es dampfförmig bleibt. Seine Anwesenheit ist nur etwa daran zu merken, daß die Luft durch reichlichen Wasserdampf eine auffallende Durchsichtigkeit erlangt. Sobald aber durch Abkühlung die Lufttemperatur unter den Taupunkt sinkt, schlägt es sich in Form winziger

Tröpfchen, die bis 1/30 mm Durchmesser erreichen, nieder. Es bildet sich dann überall da, wo die Wärmeausstrahlung während der Nacht eine ausgiebige ist, Tau. Besonders stark bildet er sich an unebenen Flächen, wie der Vegetationsdecke, welche ein schlechter Wärmeleiter ist. Besonders ausgiebig ist bei uns die Taubildung im Spätsommer, wenn die Luft noch verhältnismäßig warm ist und die Nächte durch ihre zunehmende Länge eine relativ kräftige Abkühlung des Bodens gestatten. In unseren Breiten beträgt die mittlere Taumenge einer Nacht, wenn sie sehr reichlich ist, etwa 0,1 bis 0,2 mm. In den Tropen dagegen schlägt sich bis 20mal mehr als bei uns nieder.

Sinkt die Temperatur des abgekühlten Bodens unter den Gefrierpunkt, so schlägt sich der Tau in fester Form nieder und wird dann Reif genannt. Geschieht dies in größerer Menge im Winter, so bezeichnet man das als Rauhreif. Dieser kann in kälteren Gegenden, besonders im Gebirge, wo er sich aus Nebeln, die aus überkalteten Wassertröpfchen bestehen, an kalten hervorragenden Gegenständen niederschlägt, ganz gewaltige Dimensionen annehmen, so daß davon überzogene Bäume oder Drahtleitungen Schaden nehmen. Große Ähnlichkeit mit ihm zeigt das Glatteis, das sich bei plötzlicher Temperatursteigerung der Luft auf stark abgekühltem Boden absetzt oder durch überkälteten Regen erzeugt wird. Geschieht der Eisabsatz langsam, was bei — 15° C. und darunter eintrifft, so scheidet sich der Reif oder Rauhreif in Form von zierlichen hexagonalen Eiskriställchen aus.

Soll die Kondensation des Wasserdampfes in der Luft selbst stattfinden, so müssen Staubpartikel darin vorhanden sein, um welche sich die winzigen Wassertröpfchen niederschlagen können. Fehlen sie, so kann die Luft mit Wasserdampf übersättigt sein, ohne daß es zur Bildung eines Niederschlages kommt. Findet die Kondensation des Wasserdampfes in der Nähe der Erdoberfläche statt, so nennt man das Produkt Nebel, im Gegensatz zu derjenigen in höheren Luftschichten, die man als Wolken bezeichnet. Bei beiden haben die Wassertröpfchen einen Durchmesser von durchschnittlich 0,02 mm.

Der Nebel erscheint uns weiß, weil er die Lichtstrahlen stark zurückwirft. Er entsteht gewöhnlich durch Wärmeabgabe der Luft an den stärker erkaltenden Erdboden. Daher die Bildung von Nebel nach kalten, klaren Nächten, in denen der Boden viel Wärme durch Ausstrahlung verliert. Daher auch die Häufigkeit der Nebel im Spätherbst, wo das Land rasch abkühlt, während das Wasser noch lange warm bleibt. Dann lagern sich die Nebel über die Küstenstriche der Nordsee,

die zahllose Schiffsunglücke veranlassen, wie auch über unsere Seen und Flüsse und schließlich das ganze Land. Wo große Wasserflächen sich berühren, sind Nebel nicht bloß wegen der Nähe der Quellen atmosphärischer Feuchtigkeit häufig, sondern auch wegen der großen Temperaturunterschiede, die enge bei einander liegen.

Dünne Nebelbildungen entstehen auch, wenn warme feuchte Luftströme über eine kalte Fläche, oder umgekehrt kalte Luftströme über eine

Fig. 135. Der Monte Rosa mit der 4638 m hohen Dufourspitze in der Mitte vom Gornergrat aus gesehen. Links befindet sich der Gornergletscher und rechts der Grenzgletscher. Bei ihrer Vereinigung entsteht eine typische Mittelmoräne. (Nach Photogramm von J. Kramer.)

warme feuchte Fläche streichen. Letzteres beobachten wir etwa über feuchten Wiesen oder Gewässern im Herbst. Besonders starke Nebelbildungen finden wir da, wo kalte und warme Meeresströmungen aneinandergrenzen, wie beispielsweise an der Bank von Neufundland oder in der Nähe von schwimmenden Eisbergen.

Wie Nebel gewöhnlich durch Wärmeabgabe an den kalten Erdboden entstehen, bilden sich die Wolken meist durch Ausdehnung von feuchter Luft, welche beim Emporgehobenwerden durch aufsteigende

Digitized by Google

Luftströme in Regionen von niederem Drucke und niederer Temperatur eine Abkühlung von 1 Calorie oder Wärmeeinheit für je 424 m Hebungsarbeit erleidet und in der sich, sobald sie den Taupunkt erreicht hat, um die aus den niederen Luftschichten mitgeschleppten Staubpartikel Wassertröpfchen zu Nebel kondensieren. Es sind also die Wolken, allgemein gesagt, Stellen in der Atmosphäre, in denen sich durch Abkühlung aufsteigender Luftmassen Wasserdampf verdichtet. Bei schönem Wetter erscheinen sie mehr abgerundet, bei schlechtem dagegen zeigen sie verschwommene Konturen.

Wolken unter 600 m Dicke geben keinen oder nur einen sehr leichten Regen. Bleibt ihre Dicke unter 1200 m, so sind die Regentropfen mäßig groß. Erreichen sie eine solche von etwa 4500 m, so entstehen Gewitterwolken, steigt diese auf 8000 bis 10000 m, so liefern sie Hagel. Wolken von mehr als 15000 m Mächtigkeit werden nur selten beobachtet. Dabei steigt ihre Geschwindigkeit mit der Höhe, die sie erreichen und ist bei uns im allgemeinen im Winter größer als im Sommer.

Je mächtiger also die Wolken sind, um so reichlichere Niederschläge liefern sie. Deshalb finden sich auch in den niederschlagsreichsten Tropen die gewaltigsten Wolkenbildungen. Ihre Grundfarben sind weiß und, beschattet, grau. Dunkelgraublau werden sie erst, wenn sie stark mit Elektrizität geladen sind. Wie man sich durch Versuche überzeugen kann, entsteht diese Färbung, sobald man sonst weiße Wasserdampfwolken elektrisiert, indem dadurch bei ihnen die Durchlässigkeit für grünes und blaues Licht verschwindet. Ihre Höhe ist am größten beim Cirrus, der aus feinsten in der Luft schwebenden Eiskriställchen besteht und für welchen 10 bis 11000 m Höhe nachgewiesen wurden. Seine mittlere Höhe ist bei uns etwa 9000 m und dabei beträgt seine Geschwindigkeit 20 bis 25 m in der Sekunde. Letztere kann sich aber auch bis 100 m in der Sekunde steigern. Die Cirro-cumulus-Wolken liegen ziemlich beständig zwischen 7500 und 6500 m, die Alto-cumulus kommen zwischen 6400 und 3200 m vor, die Strato-cumulus treten regelmäßig zwischen 2300 und 1800 m auf und die Unterseite der einfachen Cumulus-, d. h. Haufenwolken liegt im Mittel zwischen 1400 und 1800 m. Dabei beträgt ihre Dicke etwa 300 bis 600 m und ihre Geschwindigkeit durchschnittlich 10 m, kann aber auch eine größere sein. Und zwar sind dies sommerliche Höhen, die im August ihr Maximum erreichen. Im Winter dagegen stehen die Wolken immer um 70 bis 170 m tiefer und zwar um so niedriger, je kälter es ist. Deshalb ist auch die durchschnittliche

Wolkenhöhe eine um so größere, je mehr wir uns den Tropen nähern. Während die höchsten in Potsdam gemessenen Wolken sich in 13000 m Höhe bewegten, waren die höchsten in Manila gemessenen etwa 20000 m hoch.

So wie die Wolken in ihrem Kommen und Gehen Wetterboten sind, welche Niederschläge ankündigen, sind sie auch die Begleiter der Jahreszeiten. Von ihrer geographischen Verbreitung sagt H. Dove, daß sie im allgemeinen ein auf den Himmel projiziertes Bild des Bodens seien. Und zwar ist die Bewölkung stärker über dem Meere und den Küsten als über den großen Landmassen, stärker über feuchten als trockenen Ländern, stärker über Hochland als über Tiefland. Am wolkenärmsten sind die Passatgebiete, am wolkenreichsten dagegen die Äquatorialgürtel, alle Gebiete mit ozeanischem Klima und die Polargebiete. Ganz deutlich sieht man bei uns in Europa die Teilung in einen bewölkten ozeanischen Westen und einen nach Osten immer klarer werdenden kontinentalen Osten.

Mit zunehmender Wärme steigert sich begreiflicherweise die Dichtigkeit der Niederschläge. So haben Polargebiete wie die Hochgebirge die feinsten Schneeniederschläge, während der Frühlingsschnee durch seine Dichtigkeit, d. h. durch seinen Wasserreichtum ausgezeichnet ist. Die ausgiebigsten Regen findet man in den Tropen, wo oft in einem Tag die Hälfte des ganzen Jahresniederschlags eines mitteldeutschen Ortes fällt. Dem gegenüber ergibt ein Nebelregen bei uns in einem ganzen Tage kaum eine meßbare Feuchtigkeitsmenge. Die Regenmenge eines Tages übersteigt in der gemäßigten kalten Zone selten 10 cm Höhe. Dabei wächst im allgemeinen mit der Regenmenge auch die Dauer des Regens. Wie die Bewölkung zeigen auch die Niederschläge fast zu derselben Zeit ein tägliches Wachsen und Abnehmen mit Maxima am frühen Morgen und um 2 Uhr nachmittags und Minima dazwischen gegen Mittag und gegen Mitternacht.

Aus dem Messungen der Gebrüder Schlagintweit geht hervor, daß auch eine 5 km mächtige Wolkenbank von der größten angenommenen Dichtigkeit von höchstens 10 g Wassertropfen pro cbm nicht mehr als 50 mm Niederschläge zu geben vermag. Es müssen demnach die ergiebigsten Regengüsse von lange andauernden aufsteigenden Bewegungen feuchter Luftmassen herrühren. Solche aufsteigende Luftbewegungen von großem Umfang gehen in den Äquatorialgegenden beständig vor sich, deshalb zeigen sich dort auch außerordentlich starke Regengüsse, von denen man sich bei uns in Europa keine rechte Vorstellung macht.

Ferner kommen starke aufsteigende Luftbewegungen in Gebirgen vor. Deshalb zeichnen sich auch diese im allgemeinen durch starke Niederschläge aus. Detaillierte Karten über die Regenmengen haben große Ähnlichkeit mit Höhenkarten.

Weil nun die Abkühlung der aufsteigenden feuchten Luft durch Ausdehnung die Hauptursache des Regens ist, sind natürlich die Regengüsse wie auch die Regentropfen um so größer, je geschwinder sie aufsteigt. So sind bei uns die heftigen Regen auf den Sommer konzentriert — von Juni bis August etwa 70 Prozent — und meist mit Gewittern verbunden. Werden mit Wasserdampf gesättigte warme Luftströmungen gezwungen, an sich ihnen entgegenstellenden Höhen rasch aufzusteigen, so lassen sie die reichlichsten Niederschläge fallen. So sind die größten Tagesmengen eines Regens in Tscherrapundji in 1250 m Höhe auf den Khasiabergen in Assam am 14. Juni 1876 mit 1036 mm gemessen worden. Dort steigt der vom heißen Bengalischen Golfe kommende Südwestmonsun bei hoher Lufttemperatur an den 1800 m über die heiße, in der Regenzeit ganz überschwemmte Ebene emporragenden steilen Bergen rasch empor. Während z. B. Basel ein Mittel von 80 cm Regenhöhe im Jahr hat, besitzt dieser nicht weit vom Fuße des Himalaja gelegene indische Ort eine solche von 12 m; ja im Jahre 1861 waren es deren sogar 23 m! In der nächstliegenden Niederung erreicht die Niederschlagsmenge nicht mehr als den vierten Teil dieses Betrages. Große Regenmengen von 5 bis 7 m zeigen auch andere Stationen im indischen Monsungebiete und an der Westküste Hinterindiens. Auch der ostindische Archipel weist große Regenmengen auf, so Batavia 4,35 m, ebenso Neu-Guinea und die Inseln im Stillen Ozean, wie beispielsweise die Fidschiinsel Quara Walu, die 6,28 m aufweist. Die zweitgrößte Regenmenge auf der Erde ist am Südwestfuß des Kamerunberges mit 9,5 m gemessen worden. Sierra Leone und Kamerun haben sonst 4,3 und 4,2 m.

Alle diese regenreichsten Orte der Erde sind stets an Gebirgsabhängen in der Nähe des Meeres und in der Richtung Feuchtigkeit bringender Seewinde gelegen, indem dort außerordentlich feuchte Luft gezwungen wird, rasch aufzusteigen. So fallen auch bei uns in Europa die größten Regenmengen auf der atlantischen Seite, und zwar im Seendistrikte von Cumberland an der Nordwestküste Englands, wo am Styheadpaß in 490 m Höhe 4,31 m und zu Seathwaite in 129 m Höhe 3,43 m Regenfall im Jahr beobachtet wurden. Auch die Westküste von Schottland zeigt hohe Werte, wie der 1343 m hohe Ben Nevis 3,8 m und Glencoe

in 160 m 3,24 m. Noch größere Regenmengen fallen an einigen Orten Südeuropas, wie zu Crkvice hinter Cattaro 4,36 m. Auf der Südseite des Krainer Schneebergs fallen noch 3,19 m. Im portugiesischen Gebirge, der Serra da Estrella, hat man noch 2,97 m gemessen. Sonst wechselt die Niederschlagsmenge in Mitteleuropa, mit Ausnahme der Gebirgsgegenden, zwischen ½ bis 1 m jährlich.

Die Regenmenge steigt im allgemeinen mit der Meereshöhe, aber nur bis zu einer bestimmten Grenze, an welcher wegen der stark abnehmenden Temperatur auch die Niederschläge abzunehmen beginnen. Das Maximum fällt im Himalaya auf etwa 1300 m Höhe, in den Bergen von Java auf 1000 m und im englisch-indischen Seedistrikt auf nur 500 m Höhe. Dabei ändert sich die Höhenzone der Niederschläge mit den Jahreszeiten, indem sie im Sommer steigt und im Winter fällt. Daher ist auf den hohen Bergen Mitteleuropas der Winter trocken und reich an sonnig heiteren Tagen, während der Sommer feucht und reich an trüben Tagen zu sein pflegt.

Fig. 136. Der von der Südseite der Jungfrau entspringende und gegen das Wallis herabfließende Aletschgletscher, ein typischer Talgletscher mit Seiten- und Mittelmoränen, von Belalp oberhalb Naters aus gesehen. In der Mitte des Hintergrundes das 3905 m hohe Große Wannehorn.

Falls aber die Gebirgskette eine sehr hohe Temperatur im Vergleich zu den vorbeistreichenden Luftmassen besitzt, kann sie statt Wärme zu binden, im Gegenteil so viel Wärme an sie abgeben, daß sie den Taupunkt nicht erreichen. In solchen Fällen bleibt der Regen aus, wofür Spanien und Algerien Beispiele darbieten. Dort ist zwar die durch unvernünftige Abholzung im Bunde mit dem Ziegenfraß hervorgerufene Entwaldung die Ursache, daß es heute so ist; denn so lange diese Gebirge Wälder trugen, waren sie noch nicht so trocken und unfähig Niederschläge über sich zur Entladung zu bringen. Überall ist

die reiche Vegetation nicht nur sowohl die Folge und Wirkung großer Feuchtigkeit, sie ist vielmehr auch selbst eine große Quelle von Feuchtigkeit.

Ein Gebiet von solcher überquellender Vegetationskraft wie das des Amazonas ist imstande, ungeheuere Mengen von Feuchtigkeit an seine Umgebung abzugeben, indem der dort gedeihende Hochwald in seinen unzähligen Blättern nicht nur enorme Wassermengen verdunstet, sondern auch mit seinen schattigen Kronen den Boden feucht erhält und ihn vor zu rascher Austrocknung bewahrt. Überall auf der Welt ist guter Waldboden nicht nur ein vorzüglicher Behälter für Feuchtigkeit, die er in großen Mengen aufnimmt, und deren Verdunstung hier weit geringer ist als anderswo, sondern der auf ihm gedeihende Baumwuchs begünstigt die Niederschläge in hohem Grade. Wo Wald und Steppe über große Flächen hin wechseln, drängen aufsteigende Luftströme über der Steppe die Höhenzone der Sättigung mit Wasserdampf empor und es wird darüber viel schwerer regnen als über Wald, wo sie vielmehr in die Tiefe gedrückt wird, so daß leicht Niederschläge erfolgen. So erzählt Bates, wie sich im Camposgebiet Nordbrasiliens die Regenwolken über den Waldinseln entladen, während sie sich über der heißen Steppe verflüchtigen.

Diese die Luft herunterziehende Wirkung des Waldes kann man beispielsweise sehr schön bei Ballonfahrten beobachten, indem über solchem der Ballon sofort zu fallen beginnt, so daß man mit Auswerfen von Ballast gegen diese Wirkung energisch ankämpfen muß, wenn man in der Höhe bleiben will.

Die Verdichtung des Wasserdampfes zu Wasser oder zu Eis erzeugt stets elektrische Spannungen, die sich entweder langsam strömend in den Strahlenbüscheln des St. Elmsfeuers oder in Blitzen von den verschiedensten Formen ausgleichen. Die raschen, mit Donnerschlägen und meist mit Regen oder Hagel, nur sehr selten mit Schneefall verbundenen Entladungen nennt man Gewitter. Aber auch unabhängig davon ist durch Reibung der Wasserbläschen, Staubpartikel u. dergl. aneinander durch die verschiedenen Luftströmungen beständig Elektrizität in der Atmosphäre vorhanden. Und zwar ist in allen Klimaten der Erde die positive Elektrizität in der Luft weiter verbreitet als die negative. Letztere dagegen finden wir überall da, wo staubreiche Luft vom Winde bewegt wird, wodurch die eigentümlichen elektrischen Erscheinungen bei Staubstürmen hervorgerufen werden. Wolken, selbst die Wasserstaubwolken des Wasserfalls, weisen negative Elektrizität auf und teilen sie auch ihrer Umgebung

mit, während der Salzwasserstaub der Brandung positiv elektrisch ist. Doch kann die gleiche Wolke in verschiedenen Abschnitten verschiedene Elektrizitäten besitzen, und zwar scheint meistens der Kern der Wolke negativ elektrisch und die Luft rings umher positiv elektrisch zu sein.

Der tägliche Gang der Elektrizität zeigt an heiteren Tagen eine Übereinstimmung mit demjenigen des Luftdrucks, indem vormittags um 9 Uhr und gegen Abend die positive Elektrizität am stärksten ist. Im Laufe des Jahres ist die Elektrizität der Luft am stärksten im Winter und am schwächsten im Sommer; wahrscheinlich hängt dies damit zusammen, daß die trockene Luft reicher an Elektrizität als die mit Wasserdampf erfüllte ist, und daß aufsteigende Luftströme negative Elektrizität wegführen und damit auch die durch jene induzierte Elektrizität der Erde schwächen. Niederschläge bringen der Erde neuerdings negative Elektrizität zurück und lassen positive Elektrizität in der Luft.

Großer Dampfgehalt und hohe Temperatur der Luft begünstigen die Gewitterbildung, die in einer raschen Erniedrigung des Luftdrucks und plötzlicher Verdickung der Feuchtigkeit besteht, womit intensive elektrische Ausgleichungen verbunden sind. Daher rühren die starken Regengüsse und der Hagel, die als Folge der Gewitter aufzutreten pflegen. Besonders begünstigen die Gebirge mit ihren aufsteigenden Luftströmen, ihrer feuchten Luft und ihrer raschen, unregelmäßigen Wärmeabnahme die Gewitterbildung. So sind in Italien der Saum der Alpen, in der Schweiz die Voralpen und der Jura, in Mitteldeutschland die Sächsische Schweiz und in Rußland der Kaukasus weitaus am gewitterreichsten.

In der Regel entsteht ein Gewitter aus einer niedrig dahinziehenden Haufenwolke, die an der der Erde zugewandten Seite graublau gefärbt erscheint. Von 18 Gewittern im Riesengebirge zogen 10 unter dem Gipfel der 1600 m hohen Schneekoppe weg. Während Gebirge eine Art anziehende Kraft auf die Gewitterbahnen ausüben, bilden Flüsse vielfach ein Hindernis für das Fortschreiten derselben. Die Geschwindigkeit dieses Fortschreitens beträgt am Nordrande der Bayrischen Alpen durchschnittlich 42 km in der Stunde. Am häufigsten treten bei uns die Gewitter am Nachmittag auf; ein zweites, schwächeres Maximum zeigen die Nachtgewitter.

Nach Mohn unterscheidet man neben den Wärmegewittern, wie sie bei uns im Sommer als mehr lokale Erscheinungen durch eine heftige Erwärmung der unteren Luftschichten entstehen, noch Wirbel-

gewitter, welche mit größeren Barometerdepressionen im Zusammenhange stehen und deshalb weder eine so enge lokale Begrenzung wie die vorigen besitzen, noch auch ausgesprochen auf die wärmsten Tages- und Jahreszeiten beschränkt sind. Zu dieser Kategorie gehören die Wintergewitter, die besonders im ozeanischen Klima häufig sind, weil dieses die nötigen Mengen Wasserdampf und in den Stürmen die Bedingungen zur raschen Verdichtung hinaufgerissener feuchter Luftmassen bietet. Im

Fig. 137. Stirne des Buarbrae in Norwegen mit Gletschertor, aus dem sich die Gletschermilch ergießt. Im Vordergrund vom Gletscher geschliffene Felsen.

durch den Golfstrom auch zur Winterszeit stark erwärmten nordatlantischen Ozean kommen solche Wintergewitter sogar häufiger als Sommergewitter vor. Daß Wirbelstürme, welche Luftmassen in die Höhe reißen, von Gewittern begleitet sind, ist ganz natürlich. Bei uns kommen die Wirbelgewitter fast immer aus Westen, vom Ozeane her, und zwar oft in der Weise, daß vormittags Ostwind die Wolken nach Westen treibt, von wo dann unter Drehung des Windes von Osten über Süden nach Westen das Gewitter heranzieht. Ähnlich ist der Gang der Gewitter in Nordamerika. In entsprechender Weise erscheinen in anderen Gegenden

Digitized by Google

die Gewitter beim Umschlag vorwaltender Winde und, gleich den Wirbelstürmen, beim Beginn der Regenzeit, deren Nahen den darauf harrenden Menschen ferne Wolken mit Wetterleuchten verkünden.

Die Bedeutung der aufsteigenden warmen Luftströme für die Gewitterbildung beweist nichts besser als die Gewitter, welche die gewaltigen Dampfausbrüche der Vulkane begleiten und in denen die heftigsten elektrischen Entladungen vor sich gehen. Die stark wasserdampfhaltigen Gasmassen, welche aus der Vulkanröhre hinausgetrieben werden, steigen in diesem Falle nicht nur infolge ihrer hohen Temperatur, sondern auch infolge ihrer großen Anfangsgeschwindigkeit in die Höhe. Daher erreichen sie bedeutende Höhen und geben auch ungewöhnlich kräftige Gewitter. Die kondensierten Dämpfe breiten sich dann in der Höhe zu der typischen Pinienwolke aus, die sich oft 5 bis 6 km hoch über dem Feuerschlunde bildet. Auch die Grasbrände im Innern Afrikas und Floridas entwickeln oft genügend Hitze, um solche Wärmegewitter hervorzubringen.

Typische Wärmegewitter zeigen die tropischen Inseln, welche von hohen Bergen bekrönt sind. Auf ihnen herrscht in der Nacht ein von den tagsüber von der Sonne stark erwärmten Landmassen herrührender Berg- und Landwind, in welchem sich die heruntersinkenden Wolken auflösen, so daß der Himmel in reiner Bläue strahlt. Ein paar Stunden vor Mittag kehrt sich dann der Wind um, eine feuchte Brise weht vom Meer über die Küste und steigt an den Bergabhängen hinauf. In einer bestimmten Höhe bilden sich dann Wolken. Ist die Temperatur der aufsteigenden Luft eine genügend hohe, so nimmt die Bewölkung stark zu und verdichtet sich schließlich zu Regen. Ist aber die Luftmasse sehr warm und feucht, was ihr Aufsteigen um so mehr beschleunigt, so ballt sie sich zu dichten, infolge ihrer großen Mächtigkeit und Elektrizitätsansammlung blaugrau erscheinenden Haufenwolken, aus denen bald grelle Blitze züngeln und dumpfer Donner grollt. Es entsteht ein Gewitter. Am Abend vermindert sich die Heftigkeit der Gewittererscheinungen und der Regengüsse. Die Wolken nehmen an Stärke ab und werden vom warmen Bergwind aufgelöst. Dabei bleibt während des Regens der Himmel über dem Meer in einiger Entfernung von der Küste klar und unbedeckt.

Ganz ähnlich ist die Erscheinung in der Nähe des Alpengebirges. Dort ist nachts der Himmel klar und die Sterne funkeln in unbeschreiblicher Pracht. Strahlend erhebt sich über dem während der kühlen Nacht vom niedergeschlagenen Tau benetzten Lande die Sonne. Doch wird der

Himmel im Laufe des Vormittags immer undurchsichtiger, weißer; kein Lufthauch regt sich, bis gegen Mittag der zu bleiernem Grau sich verdunkelnde, glasige Himmel Gewitterwolken zusammenballt, die am frühen Nachmittag sich entladen, die Luft reinigen und kühlen und gegen Abend wieder einem klaren Himmel Platz machen. Dabei erreichen die Gewitterwolken um die Alpengipfel viel bedeutendere Höhen, nämlich durchschnittlich 5000 m, als diejenigen um die ozeanischen Inselberge, die sich kaum über 2000 bis 3000 m erheben. Im Flachland beträgt ihre Höhe im Mittel nur 1000 m; ja sie können sogar noch näher an die Erde herankommen. Auf Bergen stehend befindet man sich häufig unter ihnen. So beobachtete A. Riggenbach vom 2504 m hohen Säntis aus eine Gewitterwolke, deren Grundfläche 2800 m hoch war und bis 13000 m emporreichte. Oft bleibt die Umgebung der Alpenspitzen in einiger Entfernung von einem Gewitter ganz unbewölkt; bisweilen treibt aber der Wind die Wolken über die Vorberge und Niederungen dahin.

Es scheint, daß die Gewitterelektrizität nach den eingehenden neueren Forschungen von Luvini und Sohnke hauptsächlich durch die Reibung des infolge der Erhitzung rasch aufsteigenden Wasserdampfes an den fast immer in größeren Höhen schwebenden Eiskriställchen erfolgt, welch letztere bei einiger Verdichtung als Cirrus- oder Federwolken sich bemerklich machen. Sobald die Spannung der Elektrizität groß genug ist, um den Luftwiderstand zu überwinden, findet der Ausgleich in Form eines Riesenfunkens statt, den wir Blitz nennen. Die elektrische Spannung einer solchen Entladung ist ganz unfaßbar groß. Wenn wir bedenken, daß die längsten Funken, die der Mensch mit den stärksten elektrischen Maschinen der Neuzeit erreicht hat, 1½ m lang sind, daß aber die Länge mancher Blitze 3, 5, ja 7 km beträgt, so wird deutlich, daß in einem einzigen Blitze, der jeweilen für mindestens 3000 Mark elektrische Energie verpufft, soviel davon enthalten ist, daß man damit nach Otto Nairz eine Glühlampe von 32 Normalkerzen 8 Jahre lang beleuchten oder 1½ Stunden lang die Energie für die Berliner Hoch- und Untergrundbahn zur Zeit ihres stärksten Betriebes liefern oder einen Schnellbahnwagen mit einer Geschwindigkeit von 200 km per Stunde für die nur dreistündige Fahrt von Berlin nach Frankfurt a. M. speisen könnte. Dieser Energiewert wäre wohlverstanden nur dann erhältlich, wenn wir den Blitz aus den Wolken ziehen könnten, ohne daß ein großer Teil desselben infolge des Luftwiderstandes vernichtet wird.

Mit dem Reste eines Blitzes, der zwar noch einen Ableiter schmelzen kann, würden wir nicht mehr so viel anfangen können, da

dieser nicht mehr den auf 500 Millionen Volt berechneten Spannungswert, sondern nur noch etwa 100 Volt besitzt. Dennoch sind die Wirkungen des Blitzes, dessen Breite $^3/_4$ bis einige Meter beträgt und dessen Dauer dem Bruchteile einer Hunderttausendstel-Sekunde entspricht, oft ganz erstaunliche. In einem Grasgarten, in den der Blitz einschlug, hinterließ er nach demselben Autor ein Loch von 75 cm Breite und 60 cm Tiefe. Rund herum befanden sich 18 kopfgroße und 36 faustgroße Löcher. Fährt der Blitz in sandigen Boden, so erzeugt er infolge Zusammenschmelzens von Quarzkörnern 3 bis 5 m lange, sogenannte Blitzröhren. Häufig weisen die Felsspitzen hoher Berge glasige Blitzspuren auf, von denen bei der Besprechung der Verwitterung bereits die Rede war.

Bäume sind in verschiedenem Maße der Blitzgefahr ausgesetzt. Dieselbe wächst mit der Wurzeltiefe beziehungsweise der Leitfähigkeit des Erdreichs und nimmt mit zunehmendem Ölgehalte ab. Am meisten gefährdet sind Eichen, Pappeln, Birnbäume, schon weniger Lärchen, Tannen, Fichten und sehr wenig Birken, Kiefern und Buchen. Da der Blitz zu kurz dauert, pflegt er die Bäume, in die er fährt, nur ausnahmsweise zu entzünden. Meist zersplittert er sie nur oder bricht sie unterhalb der Krone ab. Des weiteren sucht er sich den saftigen Teil zwischen Holz und Rinde, indem er letztere in einer Spirale, entsprechend dem Verlaufe der Holzfasern, abschleudert. Im allgemeinen werden Pappeln und Ulmen entrindet, Tannen gefällt, während Eichen bersten. Menschen und Tiere werden vom Blitz häufig durch Verletzung des Nervensystems getötet, manchmal aber nur gelähmt oder betäubt. Da die Dauer des Blitzes eine so außerordentlich kurze ist, die Fortleitungsfähigkeit der Nerven aber nur 30 m in der Sekunde beträgt, ferner nach Helmholtz $^1/_{10}$ Sekunde zur Entstehung des Bewußtseins nötig ist, empfindet man bei einem Blitzstrahl keinen Schmerz, sondern der Tod tritt durch plötzliches Aufhören der Empfindung und des Bewußtseins ein.

Ebenso wie der elektrische Funken der Elektrisiermaschine durch Zerreißen der Luft einen Knall hervorruft, so auch der Blitz. Der Donner ist dieser Knall und er klingt nur deshalb nicht scharf und kurz, sondern langgezogen und rollend, weil der Blitz sehr lang ist. Da der Schall in der Sekunde nur 333 m zurücklegt, der Blitz aber fast 1 millionmal schneller dahineilt, so hören wir den Knall, den die uns nahen Teile der Blitzbahn erzeugen, zuerst und später erst den der ferneren Teile derselben. Und da ein Blitz meist mehrere Kilometer lang ist, so wird aus den verschiedenen aufeinander folgenden Knallen

ein langgezogenes Rollen, das durch Echo an den Wolkenbergen weitergegeben wird. Während man das Leuchten der Blitze von hohen Standorten und vom Ballon aus fast 350 km weit wahrnehmen kann, hört man den Donner nie auf weitere Entfernungen als höchstens 30 km, weil der Schall von den unteren Luftschichten nach oben reflektiert wird und so nicht mehr zum Ohr der Untenstehenden gelangt. Solches Blitzen

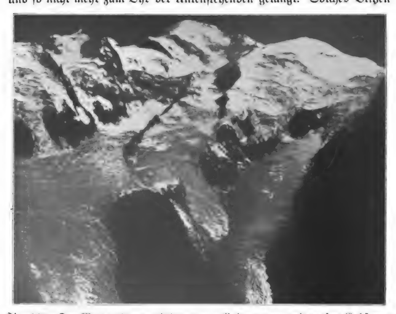


Fig. 138. Der Mont Blanc 4810 m vom Brévent aus, mit großen Gehängegletschern, und zwar haben wir links den Glacier des Bossons, rechts den Glacier de Taconnaz, dessen eine, gerade unter dem Hauptgipfel entspringende Wurzel unter dem sich nach links wendenden, als Grands Mulets bezeichneten Grate mit dem Glacier des Bossons zusammenfließend die sogenannte Jonction erzeugt (Nach Photogramm von J. Kramer.)

in der Ferne, bei welchem kein Donner mehr hörbar ist, bezeichnet man bekanntlich als Wetterleuchten.

Bei den soeben besprochenen lokalen Gewittern zeigt sich der Einfluß der elektrischen Entladungen auf den Regenguß, indem durch sie das Zusammenfließen der kleinsten Wassertröpfchen der sich verdichtenden Wolke zu Regentropfen in hohem Grade begünstigt wird. Nach jedem Blitz nimmt dadurch der Regen an Stärke zu, auch sind darnach die Tropfen am größten. In den bei heftiger aufsteigender Wirbelbewegung

gebildeten Wolken bleiben die Wassertröpfchen lange in dem überkalteten Zustand, in den sie in der gewaltigen Höhe geraten, in die sie hinaufgerissen wurden, wenn die umgebende Temperatur schon weit unter den Gefrierpunkt gesunken ist, flüssig. Kommen nun feine, in Höhen von etwa 9000 m schwebende, aus feinsten Eisnädelchen bestehende Cirrusschichten durch Wirbelbewegungen mit solchen überkälteten Tröpfchen in Berührung, so scheidet sich das Eis aus diesen teilweise aus und es entstehen gewöhnliche Graupelkörner, die ja einen großen Teil der Wasserniederschläge bei uns im Frühling, oder in den Bergen im Sommer ausmachen.

Solche Graupelkörner bilden auch den Kern der Hagelkörner. Wenn erstere nämlich nur ganz langsam heruntersinken, also längere Zeit in der Luft schweben — nach Arrhenius genügt in einer Höhe von nur etwa 2000 m eine Windgeschwindigkeit von 14,5 m in der Sekunde in vertikaler Richtung, um eine Eiskugel von 1 cm Durchmesser schwebend zu erhalten —, so verdichten die sehr starken, hiebei ihr Spiel treibenden elektrischen Kräfte, indem elektrische Ladungen verschiedener Art eine starke Anziehung zwischen den sich bildenden Eiskörnern bewirken, die Graupeln zu Hagel. Oft sind die Hagelkörner noch so stark elektrisch geladen, daß sie phosphoreszieren.

Je größer die Hagelkörner sind, die bis 7 cm, ja in Ausnahmefällen sogar bis 22 cm Durchmesser erlangen können, um so größer muß ihre Fallzeit gewesen sein. Dabei deutet ihre meist runde Form auf eine drehende Bewegung bei der Entstehung hin. Noch deutlicher verrät sich diese Drehung um eine Achse in der Form einer mehr oder weniger flachen Scheibe mit einem gewulsteten Rande, wie sie Hagelkörner nicht selten besitzen. Bestehen sie aus ganz klarem Eis, so deutet das auf Niederschlag von überkältetem Wasser auf das sich bildende Hagelkorn; sind aber Kristalle vorhanden, so ist das Gefrieren relativ langsam vor sich gegangen. Eine milchweiße Eisabscheidung dagegen beweist einen Niederschlag von Eiskristallen gemischt mit Wasser. Undurchsichtige Eisschollen entstehen endlich, wenn kleine Körnchen von 0,1 bis 0,2 cm Durchmesser zusammengeballt werden, wobei kleine Luftblasen dazwischen bleiben. Im Gebirge sind die Hagelkörner klein und gehen in Graupeln über. Am häufigsten ist der Hagel in gemäßigten und subtropischen Ländern. Gegen die Pole und den Äquator zu wird er sehr selten. In warmen Ländern schmelzen die Hagelkörner meist bevor sie den Boden erreichen. Da durch die Schmelzung dieser Körner der Luft viel Wärme entzogen wird, so empfinden wir begreiflicherweise eine wohltuende Abkühlung nach einem solchen Hagelfall.

Je mächtiger die sich zu Niederschlägen verdichtenden Wolken sind, um so größer werden auch die Regentropfen und Schneeflocken. Erstere, die bei gewöhnlichem Regen 2 bis 4 mm, bei Platzregen aber 5 mm Durchmesser aufweisen, haben wegen ihrer Herkunft aus höheren, kühlen Luftschichten stets eine niedrigere Temperatur als die Luft an der Erdoberfläche. Sinkt die Temperatur unter den Gefrierpunkt, so bilden sich Schneeflocken, die einen bedeutenderen Durchmesser besitzen, indem die betreffende Wolke nicht aus Dunstbläschen, sondern aus feinen Eiskriställchen besteht, welche durch fortwährende Kondensation von Wasserdampf größer werden und so Schneeflocken bilden, welche selbst noch beim Herabfallen durch die unteren Luftschichten wachsen, so daß sie unter Umständen 3 bis 4 cm Durchmesser erlangen können. Bei diesen Größen beträgt ihre Fallgeschwindigkeit nach Maille nur 25 bis 30 cm in der Sekunde. Bei nur 1 cm Durchmesser steigt sie dagegen auf 80 cm in der Sekunde. Dieses langsame Fallen hängt damit zusammen, daß sie der Luft eine große Oberfläche darbieten, wodurch der Reibungswiderstand wächst, und zugleich viel Luft zwischen dem Netzwerk ihrer Strahlen mitschleppen.

Je niedriger die Temperatur ist, in der sich die Wolke kondensiert, um so feiner, lockerer und leichter ist der sich bildende Schnee, der schließlich 30 mal so leicht als Wasser sein kann, indem im lockeren Flockenschnee die Luft über $^{19}/_{20}$ des Volumens einnimmt. Weil dieser die Lichtstrahlen fast ganz zurückwirft, so entsteht seine blendend weiße Farbe. Dieser überaus große Luftgehalt macht den Schnee zu einem überaus schlechten Wärmeleiter, der die unter ihm liegende Vegetation im Winter vor dem Gefrieren, wie vor dem plötzlichen Auftauen bewahrt und gleichzeitig den Boden feucht erhält. Letzterer Umstand hat eine besonders wichtige Bedeutung für den Wald, der ein sehr großes Feuchtigkeitsbedürfnis hat und für den die Winterfeuchtigkeit durch Schnee viel wichtiger als der Sommerregen ist. Deshalb ist die langandauernde Schneedecke des Winters die Hauptursache der vorzugsweisen Bewaldung des nördlichen Rußlands und Schwedens. Überall, wo das Klima überhaupt dem Waldwuchse günstig ist, erfährt er stets eine besondere Förderung in den schneereichen Gebieten.

Der Schnee bleibt auch im Walde länger liegen als auf dem Feld und durchfeuchtet deshalb den Waldboden gründlicher als dieses. Nach Wild soll eine Schneedecke eine ebenso große schützende Wirkung ausüben als eine dreimal so dicke Sandschicht. Dieser Wärmeschutz des Schnees ist von der größten Bedeutung für die Vegetation. Er wird

dadurch zum Beschützer der Wintersaat unserer Landwirte, wie auch aller übrigen Pflanzen, die er durch seine Decke nicht nur vor Frost, sondern, was ebenso wichtig ist, auch vor zu raschem Auftauen schützt. Er hält aber auch die Vegetation vor zu raschem Fortschreiten im Frühjahr zurück und bewahrt sie vor den spät noch wiederkehrenden Frösten. Ja, im Schnee selbst können in Gegenden, wo er das ganze

Fig. 139. Séracs bei der Jonction am Mont Blanc (s. vorige Fig.). Die zerrissene Gletscheroberfläche ist die Folge eines Gletscherbruchs, hervorgerufen durch das Fließen des Gletschers über den Steilabsturz jenseits einer Bodenerhebung, wo das Gefälle plötzlich jäh zunimmt.
(Nach Photogramm von J. Kramer.)

Jahr liegen bleibt, kleine Organismen, wie einzellige rote und grüne Algen, Sphaerella und Protococcus nivalis, leben und gedeihen, so daß die im Sommer teilweise auftauende Schneedecke von diesen winzigen in ihr herumschwimmenden Pflänzchen, die den Gletscherflöhen zur Nahrung dienen, in den Hochalpen oder im hohen Norden leicht rot oder grünlich gefärbt ist.

Der Schnee kristallisiert unmittelbar aus dem Wasserdampfe der Luft in den Formen des hexagonalen Systems als sechsstrahlige Sterne

Digitized by Google

der zierlichsten Art aus, die um so kleiner und dünner werden, je größer die Kälte ist, in der sie sich bilden, und je geringfügiger infolgedessen der Wasserdampfgehalt der Luft ist. Er kann sich natürlich überall auf der Erde bilden, wo die Lufttemperatur unter den Gefrierpunkt sinkt. Bei uns in Mitteleuropa fällt der meiste Schnee bei Temperaturen um Null Grad herum. Aber nur selten kommt er so zu Boden, wie er sich gebildet hat. Er ist in der Regel das Erzeugnis kälterer Höhen der Atmosphäre, aus denen seine Kristalle unter wesentlichen Veränderungen zu uns herabschweben, ja oft sogar in den warmen Luftschichten, die der Erde zunächst aufliegen, schmelzen, ehe sie den Boden erreichen, so daß es unten regnet, während es oben schneit.

Sobald er auf den Boden gelangt ist, verändert er sich ebenfalls. Ist der Boden warm, so schmilzt er in den untersten Lagen und verdichtet sich. Auch an der Oberfläche schmilzt oder verdunstet er oder erfährt eine Verdichtung durch Wasser, das sich auf ihm niederschlägt. So verwandelt sich der anfangs lockere Schnee unter dem Einflusse des Auftauens und Wiedergefrierens in einen körnigen Schnee, den man Firn nennt. In ihm entwickeln sich aus den Schneekristallen kleine Körnchen, die nur noch im Kerne eine Kristallstruktur zeigen, im übrigen aber geschmolzen und breiig sind. Gefrieren aber diese weichen Außenschichten, so verkitten sich diese einzelnen Körnchen zu Firneis. Mit zunehmendem Drucke durch das Eigengewicht der großen Schneemassen, wie sie in den Gebirgen und in dem Polargebiete fallen, vermehrt durch das allmähliche Abwärtsgleiten derselben an geneigten Flächen, wird nicht nur die reichlich dazwischen liegende Luft ausgedrückt, sondern die Firnkörnchen werden zusammengepreßt und vereinigen sich teilweise zu größeren Körnchen und Eis, ein Vorgang, den man als Vergletscherung bezeichnet. Da das Schmelzwasser nach unten sickert, geht natürlich die Umwandlung der Firnkörner in Gletscherkörner in tieferen Schichten eines Firnlagers rascher vor sich als in den höheren. Dabei läßt die Mächtigkeit der Firnlager in den Firnmulden in großen Höhen, wo die Schmelzung ganz unbedeutend ist, einen bedeutenden Druck voraussehen. Wenn so am Mont Blanc in fast 4400 m Höhe der Firn in 15 m Tiefe ein spezifisches Gewicht von 0,86 hatte, was dem Gletschereis nahe kommt, so darf man mit Gewißheit annehmen, daß in noch größeren Tiefen dichtes Eis liegt, das dem Gletschereis näher steht als dem Firneis. Der Schnee verdichtet sich also in jedem Lager von oben nach unten zu Firn, Firneis und schließlich zu Gletschereis.

Wie um die Pole herum, so lagert sich auch auf den höheren

Gebirgen solcher Firn als sogenannter **ewiger Schnee** ab, soweit die Firngrenze reicht, d. h. soweit im Winter ebensoviel Schnee fällt als im Sommer wegschmilzt. Die Höhe dieser **Firngrenze** hängt nicht

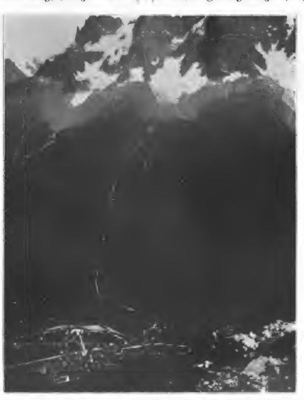


Fig. 140. Nördliches Ende der Mont Blanc Kette, vom Brévent aus aufgenommen. In den Mulden oben am Berge können sich der Steilheit wegen nur unbedeutende Gehängegletscher bilden, die in breit ausladende Moränen endigen. Charakteristisch ist die steile Böschung, deren spärlicher Nadelholzwald im Sommer und Herbst fortwährend mit Muren und Steinschlag und im Frühjahr mit Lawinen zu kämpfen hat. Im Tale unten Chamounix, von der Arve durchströmt (1150 m).
(Nach Photogramm von J. Kramer.)

nur von der Lufttemperatur, sondern in hohem Grade auch von der Niederschlags-, also Schneemenge ab. Die trockene Seite eines Berges hat deshalb eine viel höhere Firngrenze als die feuchte, auch wenn sie

an der kälteren Nordseite, wo die Sonne weniger Zutritt hat, liegt. So finden wir die Firngrenze an der Nordseite des Himalaya in 5670 m Höhe, auf der Südseite dagegen, welche mehr Niederschläge erhält, in 4930 m. Im Nordkaukasus, wo der trockene Wind von der Steppe 300 bis 450 m höher hinauf als in den südlicheren Teilen weht, liegt sie bei 3300 m; über Hocharmenien dagegen steigt sie bis 4200 m. In unseren Alpen schwankt sie zwischen 3100 bis 2800 m und ist im Mittel etwa bei 2950 m. Diesen mittleren Wert finden wir z. B. bei der 3425 m hohen Finsteraarhorngruppe. Aber schon im Dammastock liegt sie infolge der geringeren Massenerhebung, welche geringere Mengen von Schneefall zur Folge hat, durchschnittlich 200 m höher als im Finsteraarhorngebiet. Nach den Messungen von Magnus Frisch steigt die Firngrenze an den Südhängen bis 3090 m und sinkt auf den Nordhängen bis 2855 m; durchschnittlich liegt sie bei 2960 m. Gegen Osten sinkt sie immer tiefer, liegt in der Stubaiergruppe und am Adamello in 2800 m, in der Brentagruppe in 2700 m und auf der Nordseite der Hohentauern in 2600 m. Ungewöhnlich hoch liegt sie wegen des trockenen dortigen Klimas in Sibirien. An der Magelhaensstraße, die äußerst reichliche Niederschläge erhält, sinkt sie dagegen auf 800 m Höhe. Die niedrigste bekannte Lage hat sie im Kerguelenarchipel auf der Südhemisphäre, die im allgemeinen, weil sie vorwiegend vom Meere bedeckt wird, niederschlagsreicher als die Nordhemisphäre ist, nämlich bei 300 m, die höchste dagegen in den Anden oberhalb von Atacama in Peru unter dem Wendekreis des Steinbocks, in 6000 m, dann im Karakorum in Tibet bei 5910 m.

Ein Teil der Schneeanhäufungen, welche oberhalb der Firngrenze sich bilden, gleitet in Form von Lawinen zu niedriger gelegenen Orten, um dort zu schmelzen, ein anderer nicht unbedeutender Teil verdunstet. Der übrig bleibende Teil schmilzt unter wachsendem Drucke zu Gletschereis zusammen und gleitet als Gletscher aus den Firnmulden unter die Firngrenze zu Tal. Da das Eis an sich starr ist, so kann eine Fortbewegung desselben, ein Talabwärtsfließen im Gletscher nur dadurch zustande kommen, daß einzelne Teilchen desselben unter dem Drucke infolge der Schwere schmelzen, sich ein wenig verschieben und wieder gefrieren. Indem sich dieser Vorgang der Schmelzung mit nachfolgender Regelation stetsfort wiederholt, kommt in der Gesamtmasse eine Vorwärtsbewegung zustande. Die großen Gletscher, welche durch von ihnen ausgeschliffene Täler bergabwärts fließen, bezeichnet man als Talgletscher. Viel kleiner als sie sind die Gehängegletscher, die

sich dort entwickeln, wo die Steilheit des Gebirges die Ausbildung einer zusammenhängenden Firndecke nicht zuläßt. So zählt beispielsweise die Finsteraarhorngruppe 16 Talgletscher und über 100 Gehängegletscher.

Den Firn mit eingerechnet beträgt das Gefälle der großen Alpengletscher zwischen 5 und 8 Grad und übersteigt nur in den Abstürzen 10 Grad. Auf mancher Gletscherzunge schreitet man wie über ebenem Boden talwärts, so besonders auf den großen Himalayagletschern, die in ihren langen Tälern mit einem verschwindenden Gefälle dahinziehen. Dabei mag ihre Mächtigkeit erheblich über 500 m betragen. Nach der Mitte zu ist die Gletscheroberfläche gewölbt, so lange reichliche Zufuhr von Gletschereis die dort besonders starke Bewegung unterstützt. Läßt diese gegen Ende des Sommers oder beim allgemeinen Rückgang der Niederschläge überhaupt nach, so sinkt der sich sonst prall aufwölbende Eiskörper ein und schafft den auf ihn fallenden Gebirgsschutt nicht mehr genügend fort. Es bilden sich auf ihm, wie man sagt, gehäufte Moränenwälle. Solche Schwankungen der Gletscher hängen mit Klimaschwankungen zusammen, indem naßkalte Perioden dem Wachstume der Eisströme förderlich, trockenwarme dagen ihm nachteilig sind. Diese sind aber durchaus von den Vorgängen auf der Sonne abhängig und variieren, wie Ed. Brückner gezeigt hat, in 35jährigen Perioden. Bekanntlich sind die Gletscher unserer Alpen schon seit längerer Zeit in hochgradiger Abnahme begriffen.

Da das Gletschereis plastisch ist, fließen die Gletscher wie ein dicker, zäher Sirup aus den Firnmulden zu Tal. Die Geschwindigkeit nimmt dabei wie bei jedem Flusse mit der Abnahme des Reibungswiderstandes vom Rande bis zur Mitte, wie auch von der Tiefe bis zur Oberfläche zu. Ersteres kann man leicht durch Auslegen von markierten Steinen feststellen. Da das Gefälle in den oberen Teilen meist stärker als in den unteren ist, nimmt die Geschwindigkeit der Bewegung entsprechend von oben nach unten ab. Im allgemeinen ist die durchschnittliche Bewegung an den Gletschern der Alpen und von Skandinavien in der Mitte gemessen, 40 bis 100 m im Jahr, und zwar fließen die großen Eisströme natürlich schneller als die kleinen. So beträgt nach den Messungen Forels am Rhonegletscher die Geschwindigkeit in der Mitte 98 m im Jahr, in 1/3 dieser Entfernung 90 m, in der Hälfte 75 m, in 2/3 50 m und in 5/16, also nahe beim Rand nur noch 12 m im Jahr. Größere Geschwindigkeiten kommen nur da vor, wo gewaltige Eismassen durch enge Täler mit großem Gefälle hindurchgepreßt werden und an manchen Abflüssen des Inlandeises, das die Polargebiete in über 1000 m Mächtig-

keit überzieht und mit 19 bis 22 m Geschwindigkeit in 24 Stunden herabgleitet, um sich weit ins Meer hinauszuschieben bis sein Rand auf dem Wasser schwimmt. Dann brechen, durch die Bewegungen des Wassers gegen die Unterseite des Eises begünstigt, große Stücke davon ab, um als *Eisberge* davonzuschwimmen und, von südwärts gerichteten Strömungen getrieben, oft bis weit in die gemäßigte Zone hinauszugelangen. Man hat in der Nähe des großen vollkommen vergletscherten Südkontinents Eisberge im Meere schwimmen gesehen, welche 100 m über dem Wasserspiegel hervorragten. Da nun das spezifische Gewicht des Eises ungefähr 9/10 von demjenigen des Meerwassers beträgt, so muß man die Gesamtdicke dieser Eismassen, die vom Südpolarinlandeis abgestoßen werden, auf 1000 m veranschlagen. Dabei werden die Massen des Inlandeises auf beiden Halbkugeln zusammen von A. *Penck* auf etwas mehr als 1 Prozent der gesamten Wassermenge des Meeres geschätzt. Würden sie auf einmal schmelzen, so würde das Weltmeer um etwa 40 m steigen.

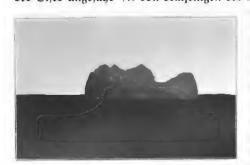


Fig. 141. *Im Meere treibender Eisberg.* Meist sind sie 20 bis 30 m, gelegentlich aber auch 50 bis 60 m hoch. Ja in den Südpolarmeeren, in die sich die gewaltigen Gletscher der Antarktis ergießen, erreichen sie eine Höhe von 100 m. Da nun nur etwa der neunte Teil des Eisblockes über das Wasser hervorragt, so kann man sich von der gewaltigen Größe dieser Gebilde eine annähernde Vorstellung machen.

Da, wo das Gefälle eines Gletschers durch einen Absturz der felsigen Unterlage plötzlich stark zunimmt, bilden sich nicht nur sehr tiefe und breite **Querspalten**, sondern es entsteht geradezu ein *Eissturz*, der durch zahlreiche wild zerrissene Eisblöcke, die man nach einer französischen Bezeichnung *Séracs* nennt, gekennzeichnet wird. Ist das Felsbett des Gletschers in der Mitte stellenweise stärker erhöht als an den Rändern, so entstehen *Längsspalten*, meist reihenweise hintereinander, die sich entsprechend dem Abfall öffnen und beim Weitergleiten wieder schließen.

Da der Gletscher bei seinem Dahinfließen den als Grundmoräne bezeichneten Schutt weiterwälzt und ihn mit großer Gewalt gegen die Unterlage preßt, wirkt er stark abschleifend auf dieselbe. Die Folge

davon sind nicht nur geritzte Geschiebe der Grundmoräne, sondern auch Gletscherschliffe, die man sehr häufig in den ehemals vergletscherten Gebieten antrifft. Durch solchen Gletscherschliff erniedrigte und abgerundete Felshügel bezeichnet man als Rundhöcker oder mit einem französischen Worte als roches moutonnées, weil sie wie lagernde

Fig. 142. Partie aus dem Gletschergarten in Luzern. Die anstehende miocäne Meeresmolasse ist hier durch den infolge des Kälterückschlages des Bühlstadiums nach der Achenschwankung am Schlusse der letzten Eiszeit wieder bis über Luzern hinausgreifenden Reußgletscher abgeschliffen worden. Indem das Eis über diese Terrainwelle hinabglitt, öffneten sich in ihm tiefe Querspalten, in welche an der Oberfläche des Gletschers verfrachtete Steine hinabfielen und von den gleichfalls hinabstürzenden Schmelzwässern so lange in drehender Bewegung erhalten wurden, bis sie nicht nur selbst rundgeschliffen waren, sondern auch in den Untergrund die zahlreichen hier aufgefundenen Gletschertöpfe ausgeschliffen hatten. In den verschiedensten ehemals vergletscherten Gebieten sind solche Gletscherschliffe und Riesentöpfe mit den betreffenden Rollsteinen im Grunde gefunden worden, so auch in den Kalkhügeln von Rüdersdorf bei Berlin.

Schäfchen erscheinen. In allen ehemals vergletscherten Gebieten beherrschen sie oft geradezu das Landschaftsbild.

Auf dem Gletscher sammelt sich in unzähligen Adern und Äderchen das tagsüber im Sonnenbrande zur Abschmelzung gelangende Wasser, das einige Stunden nach Sonnenuntergang zu fließen aufhört, in oft weithin rauschenden Bächen, die in den ihnen nächsten Gletscherspalten in die Tiefe stürzen, um in tieferen, ins Eis eingegrabenen Rinnen am

Digitized by Google

Gletscherrande zutage zu treten. Von solchen innerhalb des Gletschers an Spalten in die Tiefe stürzenden Bächen werden bisweilen durch in spiralige Drehung gebrachte Steine tiefe Löcher ausgehöhlt. Solche von diluvialen Gletschern ausgehöhlte sogenannte Gletschermühlen finden sich da und dort samt den die Aushöhlung bewirkenden Steinen erhalten,

Fig. 143. Pierre à muguets oder Maiglöckchenstein, einer der großen erratischen Blöcke oder Findlingssteine, die der Rhonegletscher bei seinem Rückzuge nach der letzten Eiszeit in der Moräne von Collombey bei Monthey im Kanton Wallis ablud. Es sind ihrer eine ganze Zahl, die alle der Gesteinsbeschaffenheit nach zu urteilen aus der Trientgruppe des Mont Blanc stammen und vom Gletscher hieher transportiert wurden. Die meisten derselben wurden zu Bausteinen verwendet; nur die beiden größten, dieser hier und die benachbarte nur wenig kleinere Pierre à dzo — ein mundartlicher Ausdruck, der so viel als wie ‚im Gleichgewicht' bedeutet — wurden, um der Vernichtung vorzubeugen, von der walliser Regierung angekauft und im Jahre 1853 dem Waadtländer Jean de Charpentier geschenkt, der durch seine klassische im Jahre 1841 in Lausanne herausgegebene Schrift: Essai sur les glaciers et le terrain érratique du bassin du Rhône als erster auf die Herkunft dieser Fremdlinge durch Gletschertransport hingewiesen hatte. Nach dessen Tode im Jahre 1875 gingen die beiden Blöcke in den Besitz der waadtländischen Naturforschenden Gesellschaft über, welche dafür Sorge trägt, daß diese beredten Zeugen der zu Ende gegangenen letzten Eiszeit den kommenden Geschlechtern erhalten bleiben.

so beispielsweise im Gletschergarten in Luzern, den zu besuchen die meisten Reisenden nicht versäumen.

Von den Felswänden, zwischen denen sich der Gletscher weiter bewegt, stürzen beständig Steine und Geröll auf ihn herunter; diese werden nun von ihm als Seitenmoränen weiter transportiert. Moräne ist nämlich ein dem Sprachschatze des Kantons Wallis in der Schweiz entnommener Provinzialausdruck für Gletscherschutt überhaupt. Fließen zwei Gletscher zusammen, so bilden die beiden aneinander grenzenden Seitenmoränen eine gemeinsame Mittelmoräne. Eventuell können

Digitized by Google

auch durch Zusammenfließen von mehreren kleinen Gletschern zu einem größeren mehrere Mittelmoränen entstehen. Aus der am Boden des Gletschers sich aus Steintrümmern vom Gletscherbette und aus hinuntergefallenen Steinen und Sand bildenden Grundmoräne wird das vom Gletscherbache durch Abschleifung der felsigen Unterlage entstandene feine Gesteinspulver mit dem davonströmenden Wasser entführt, woher dieses eine trübe milchigweiße Farbe erlangt, die ihm die Bezeichnung Gletschermilch eingetragen hat. Diese Gletschermilch charakterisiert alle Abläufe von Gletscherwasser und tritt meist am Gletscherende durch ein sogenanntes Gletschertor zutage.

Größere Steine, die auf den Gletscher herunterrollen, schützen begreiflicherweise ihre Unterlage vor Abschmelzen und Verdunstung; dadurch entstehen die merkwürdigen Gletschertische. In ähnlicher Weise geben Sand- und Schlammassen zur Entstehung von schuttbedeckten Eiskegeln Anlaß. All dieser Gesteinsschutt wird an der Abschmelzstelle des Gletschers abgeladen und bildet daselbst eine bogenförmige Endmoräne. An der Verschiebung derselben im Laufe von längeren Zeiträumen kann man wichtige Schlüsse über die ehemalige Ausdehnung des betreffenden Gletschers, der ihn angehäuft hat, ziehen. Auch die vom Gletscher liegen gelassenen erratischen Blöcke oder Findlingsblöcke, deren Gesteinsbeschaffenheit bisweilen genau über ihre Herkunft von diesem oder jenem Berge Auskunft gibt, zeigen das Gebiet einer ehemaligen Vergletscherung an. Oft liegen sie hoch oben an Bergabhängen als Zeichen dafür, daß der Gletscher einst so hoch hinaufreichte, sonst hätte er sie nicht dort zurücklassen können.

Von jeder Stirn- oder Endmoräne geht eine Geröllterrasse aus, welche die von den Schmelzwässern talabwärts transportierten Geschiebe, die sogenannten fluvioglazialen Schotter enthält. Da diese Schotterterrassen das Tal gleichmäßig ausfüllen, so muß wohl angenommen werden, daß durch plötzliche Ausbrüche größerer Wassermassen, die sich in Form kleiner, vom Gletscher abgedämmter Seen, an Seitentälern oder hinter der Stirnmoräne nahe am Gletscherende befanden, eine gleichmäßige Verbreitung der Geröllmassen stattgefunden habe.

Nun können wir aus dem Vorhandensein von etwa fünf gut ausgebildeten übereinander liegenden fluvio-glazialen Schottermassen das Vorhandengewesensein von ebensoviel verschiedenen Eiszeiten annehmen. Und da solche stets nur unterhalb eines Gletscherendes entstehen konnten, so vermögen wir aus ihrem Beginne, der an die Stirnmoräne

aus der Zeit der betreffenden maximalen Vereisung anknüpft, die Ausdehnung der Gletscher der verschiedenen Eiszeiten abzulesen. Weiteres darüber soll bei der Besprechung der Eiszeit am Schlusse des folgenden Bandes gesagt werden.

Von allen wässerigen Niederschlägen, die bei uns in Mitteleuropa zu Boden fallen, verdunstet ⅓, ⅓ läuft in Bächen zu Tal und durch die Flüsse ins Meer und ⅓ zir-

Fig. 144. Stalaktiten und Stalagmiten aus schneeweißem Kalksinter in der Hermannshöhle bei Rübeland im Harz. Diese im Jahre 1866 durch einen Zufall von einem Chausseearbeiter entdeckte, aber erst seit 1867 vollständig erschlossene und nunmehr mit elektrischem Lichte beleuchtete Tropfsteinhöhle besteht aus drei Stockwerken. Die Gesamtlänge der begehbaren Gänge beträgt 635 m; die größten Ausweitungen haben eine Breite von 22 m und Höhen bis zu 37 m.

kuliert als Grundwasser in den oberflächlichsten Bodenschichten, bis es irgendwo, von einer undurchlässigen Tonschicht abgedrängt, als Quelle zutage tritt. Dabei ist überall, wo die Oberfläche der Erde trocken ist, das Wasser in der Tiefe anzutreffen, indem es von durchlässigen Erdschichten, wie Kalkstein und Sand, dahin abgeleitet wurde. Wo aber wasserundurchlässige Schichten, wie Tone und Mergel, sein Ablaufen in die Tiefe verhindern, da finden wir es an der Oberfläche.

Der Stand des Grundwassers schwankt je nach dem Zu- und Ab-

fluß und folgt in dieser Beziehung nahezu den Schwankungen des Flußwasserstandes. Wenn dasselbe durch klüftigen, rissigen Kalkstein in die Tiefe geleitet wird, sammelt es sich von einem weiten Gebiet in den unterirdischen Gängen und Höhlen und bricht an der tiefsten Stelle der Grenze zwischen diesem Kalk und einem weniger durchlässigen Gestein als starke Quelle hervor. Solche Riesenquellen haben wir außer im Jura hauptsächlich im Karstgebiet. Diese halten, wie alle Quellen, eine nahezu konstante Temperatur das ganze Jahr hindurch, weil das Wasser durch so tiefe Schichten gelaufen ist, daß sich in demselben die jährliche Temperaturschwankung nicht geltend macht. Wenn sie aus tieferen Schichten stammen, ist das Wasser gewöhnlich etwas wärmer als die mittlere Jahrestemperatur des betreffenden Ortes. Dabei enthalten sie allerlei aus dem von ihnen durchflossenen Boden ausgelaugte Salze, so hauptsächlich kohlensauren Kalk und Kochsalz. So lange sie reich an Kohlensäure sind, die sie als Verwesungsprodukt im Boden aufnehmen, enthalten sie den kohlensauren Kalk in der doppeltkohlensauren Verbindung gelöst. Sobald diese Kohlensäure aber sich verflüchtigt, fällt dann in dem Maße unlöslich gewordener kohlensaurer Kalk aus. Auf diese Weise bilden sich in Höhlungen im Kalkgebirge von heruntertropfendem und zerstäubendem kalkhaltigem Wasser im Laufe langer Zeiträume die weißen Niederschläge von Kalksinter, die man in solchen als oft gewaltige von der Decke herabhängende Säulen, als sogenannte Stalaktiten, oder vom Boden nach aufwärts wachsend als Stalagmiten in den phantastischsten Formen findet.

Nach denselben Gesetzen findet man auch Niederschläge von Kalksinter, die man unrichtiger Weise als Kalktuff bezeichnet, obschon sie mit dem so genannten vulkanischen Absatze nichts zu tun haben, im Freien, da wo kalkhaltige Quellen zutage treten. Stürzt z. B. ein solcher Bach als Wasserfall über eine Felsstufe und zerstäubt in unzählige Tropfen, so ergeben sich wieder die Bedingungen zur Ausscheidung des meist reichlich in ihm vorhandenen Kalkes. Ein solcher durch den oberhalb von Rom in den Tiber mündenden Anio oder Teverone bei Tivoli, dem alten Tibur, wo das Flüßchen in schäumenden Fällen vom Sabinergebirge in die Campagna hinabstürzt, niedergeschlagener Absatz, der sich da heute noch vor unseren Augen bildet, hat einst das herrliche Quadermaterial für die Prachtbauten unter den Caesaren in Rom geliefert. Die oft ziemlich lockeren Kalksintermassen umschließen sehr häufig die Abdrücke von Blättern, Stengeln und anderen Pflanzenteilen oder Schneckengehäuse und Knochen. Ja, das Baseler Museum besitzt sogar

Digitized by Google

ein durch Kalksinterabsatz zu Stein gewordenes Vogelnest samt dem einst darin brütenden und nun ebenfalls petrefizierten Vogel, dessen Federn bis in alle Einzelheiten noch deutlich zu erkennen sind. So haben sich uns im Kalksinter vielfach auch zartschalige Eier von Vögeln oder Reptilen aus längst vergangenen Erdperioden erhalten. Solche Kalksinterabsätze bilden sich gelegentlich auch in kalkreichen juvenilen Quellen, wie beim Wasservulkan von Karlsbad in Böhmen, dessen Absatz, der in kugelförmigen Konkretionen ausgeschiedene Sprudelstein, das ganze

Fig. 145. Als Travertin bezeichneter Kalksinter mit Blattabdrücken, von den Wasserfällen des Teverone in Tivoli bei Rom.

Tal erfüllt. Durch die leichte Verflüchtigung der großen aus der Tiefe mitgebrachten Kohlensäuremenge geht in dieser heißen Quelle der Kalkabsatz so rasch vor sich, daß Gegenstände, die man in das Wasser legt, in kurzer Zeit sich mit einer vollständigen Kalkkruste überziehen.

Die Quellen geben zur Bildung von Bächen Anlaß, welche immer mehr Wasserläufe sammelnd sich zu Flüssen vereinigen, die sich gelegentlich in Seen klären und schließlich zum Strom vereinigt zum Meere, woher das Wasser kam, zurückfließen. Je steiler das Ge-

Digitized by Google

fälle eines Baches ist, um so ungestümer strömt in ihm das Wasser zu Tale. Besonders wenn derselbe nach starken Regengüssen oder bei rascher Schneeschmelze infolge Einsetzens des Föhns enorm schwillt und zum schäumend dahinrauschenden Wildbache wird, befördert er durch die Wucht seines Falles nicht nur sehr viel, sondern auch sehr großes Geschiebe zu Tal und lagert es als Schuttkegel auf der nächsten ihm begegnenden sanfteren Böschung ab. Wenn das Geschiebe im Wildbach den größten Teil seines Inhaltes ausmacht, so spricht man von Mur-

Fig. 146. Murausbruch des Lambachs in Kienholz am rechten Ufer des Brienzersees im Jahre 1896. Schon im 15. Jahrhundert wurde dieses Dorf fast vollständig unter einem solchen Schutt- und Schlammstrom begraben.

brüchen oder Murgängen. Dieselben richten häufig im Kulturlande große Verheerungen an und können ganze Dorfschaften zum Auswandern zwingen. Durch solche Schuttkegel, die bisweilen von Nebenflüssen in das Haupttal hinuntergespült werden, können hochgradige Veränderungen im Laufe des Hauptflusses bewirkt werden.

Wie jedes strömende Wasser schleppt der zum Meere eilende Fluß kleinere und größere Gesteinstrümmer, die er abrollt, und Erde die er auflöst, mit sich, um diese weiter unten, sobald seine Strömung nachläßt, abzusetzen. Soweit ein Fluß Bodenpartikel abschwemmt geht sein Oberlauf, dann beginnt der Mittellauf, wo er bis-

Digitized by Google

weilen erodiert, zu anderen Zeiten aber ablagert, bis endlich am Unterlauf nur von ihm abgesetzt wird.

In Karstgegenden verschwinden bisweilen Bäche, ja selbst Flüsse in großen Klüften, die das Wasser mit der Zeit im Kalkgebirge ausgelaugt hat, und nehmen eine Strecke weit einen unterirdischen Verlauf, bis sie gelegentlich wieder zutage treten oder, wenn sie dies nicht tun, direkt ins Meer münden. So verschwindet der Poikfluß in der Nähe von Laibach zweimal unter der Erde, um schließlich wieder regelrecht ans Tageslicht zu kommen. So wie er machen es verschiedene Flüsse im Karstgebiet; noch andere verschwinden zwar, kommen aber nicht mehr zum Vorschein, indem sie unterirdisch in die Adria fließen. Auch im Juragebiet in der Schweiz hat man im zerklüfteten Kalkboden solche teilweise verschwindende Gewässer, wie z. B. Doubs und Rhone, die anderwärts wieder hervorsprudeln. Auch das Flüßchen Orbe, das den See von Brenet speist, gehört dazu. Nachdem es sein Wasser darein ergossen, verschwindet es scheinbar spurlos, um 2,5 km weiter südlich und 220 m tiefer als mächtige Quelle am Fuße eines von ihm durchströmten Kalkberges wieder zutage zu treten. Der Zusammenhang solcher verschiedener Flußteile läßt sich leicht nachweisen, indem man Fluoresceïn, das vollkommen ungiftig ist und schon in ganz minimalen Spuren dem Wasser eine stark grasgrüne Färbung erteilt, in einen Fluß oder irgend ein Gewässer schüttet und nachsieht, ob das betreffende andere Gewässer nach einer bestimmten Zeit Spuren dieses Farbstoffes zeigt oder nicht. Damit hat man im Juragebiet nicht nur viele unerwartete Verbindungen zwischen den verschiedenen Wasserläufen entdeckt, sondern beispielsweise auch festgestellt, daß die Donau und der Rhein in unterirdischer Verbindung miteinander stehen.

Fig. 147. Perte du Rhône zur Winterszeit. Hier hat der Rhonefluß unterhalb Genf in Urgonkalke der unteren Kreide eine so schmale rinnenartige Schlucht eingeschnitten, daß sein Wasser in der Tiefe teilweise nicht mehr zu sehen ist, weil es zum größten Teil in unterirdischen Höhlungen und Klüften verschwindet, um erst weiter unten wieder zutage zu treten.

Selbstverständlich wird nicht alles Wasser, das in dem Niederschlagsgebiet eines Flusses fällt, durch denselben zum Meere transportiert. Je nach der größeren oder geringeren Sonnenbestrahlung verdunstet eine größere oder geringere Menge desselben. Dies kann gelegentlich in so hohem Maße der Fall sein, daß das Wasser des Flusses überhaupt nicht ins Weltmeer gelangt, sondern wie die Wolga, der Jordan, der Amu und Syr Darja, d. h. der Oxus und Jaxartes der Alten, und zahlreiche andere, in einen abflußlosen sogenannten Endsee strömt und

Fig. 148. Landschaftsbild aus dem Copper River-Distrikt in Alaska. Die vom Gebirge herabströmenden Bäche haben tiefe Schluchten in die von der letzten Eiszeit herrührenden mächtigen Moränen und die von ihnen ausgehenden Schottermassen gerissen.

dort verdunstet. Dadurch findet in diesen allmählich eine Anreicherung an Salzen statt, sie werden zu Salz- oder Bitterseen. In ihnen wird allerdings die Verdunstung, die im Süßwasser im Verhältnisse von 121 : 100 leichter vor sich geht als in Salzwasser von der Dichte des Meerwassers, infolge ihres reichen Salzgehaltes etwas verzögert, aber meist nur unwesentlich, indem das leichte süße Wasser beständig obenauf schwimmt und erst in dem Maße, als es eingedickt und dadurch spezifisch schwer wird, nach unten sinkt.

Wenn abflußlose Seen ausnahmsweise fast süßes Wasser haben, so sind es entweder Seen ohne oberflächlichen Abfluß, die ihr Wasser stetig oder periodisch durch unsichtbare Löcher oder durch Durchsickern verlieren, also durch den Wechsel des Wassers, das infolgedessen auch

nicht salzig werden kann, den gewöhnlichen Abflußseen vollkommen gleichgestellt sind, oder es kann auch, womit Sven Hedin beispielsweise die Salzarmut des nördlichen Lobnor im Tarimbecken erklärt, der größte Teil ihres Salzgehaltes bei starkem Rückgang auskristallisieren und in der Folge mit Schlamm und Sand bedeckt werden, so daß neu zufließendes Wasser das Salz nicht mehr aufzulösen vermag.

Die meisten Salzseen sind das Ergebnis der Trockenheit eines Klimas, wo sich der von der Sonne ausgedörrte Wüstensand und die wasserdampffreie, durstige Atmosphäre „wie Wölfe um das Wasser reißen". Ihr Salzgehalt kann von kleinen Beträgen bis zur vollkommenen Sättigung gehen, die in verschiedenen kleinen abflußlosen Seen Kleinasiens bis über 30 Prozent beträgt. Der Kaspisee hat in der Gegend der Wolgamündung fast süßes Wasser, bei Baku aber 1,3 Prozent Salz; der Aralsee hat 1,08, die Bitterseen an der Landenge von Sues 5,4, der Große Salzsee in Nordamerika 18,6, das Tote Meer 23,7 Prozent Salz, so daß es dem Menschen schließlich unmöglich wird, in einer solchen Soole unterzusinken. Aus den gesättigten Salzlösungen mancher Endseen kristallisieren dann die Salze aus, die entweder als dünne Kruste auf der dicken Flüssigkeit schwimmen oder zu Boden sinken. In dieser Weise scheidet sich nicht nur Kochsalz, oft in schönen Kristallen, ab, sondern aus dem Großen Salzsee z. B. kristallisiert bei 0° Natriumsulfat d. i. Glaubersalz aus, und als im Jahre 1856 im Küstengebiete Kaliforniens der Boraxsee entdeckt wurde, fand man eine mächtige Schicht kristallisierten Boraxes auf seinem Boden angesammelt. Oft schieben sich die Salzkrusten dicht übereinander und bilden dann eine weiße Decke über dem See, ihrer Mutterlauge. In der Mitte der persischen Salzwüste findet sich als Überrest eines nunmehr eingetrockneten Endsees ein Salzlager aus 3 m dicken, würfelförmig zerspaltenen Salzmassen, dessen oberste Schicht durch darüber gewehten Staub seine weiße Farbe verloren hat und schmutzig geworden ist.

Daß solche Endseen viel größere Schwankungen erleiden als die Abflußseen, in denen Zufluß und Abfluß sich von selbst regulieren, ist ganz natürlich. Besonders sind die Endseen oft dauernden Rückschwankungen unterworfen und erleiden so eine Verdichtung ihres Salzgehaltes. Die meisten großen Endseen aller Kontinente bilden Beispiele dafür und zeigen deutlich, daß hinter der Gegenwart eine Zeit größerer Ausdehnung der Wasserflächen bestand. So lag beispielsweise der Spiegel des alten Kaspischen Sees 140 m höher als heute und stand durch Meerengen mit dem Aral- wie mit dem Sarikamyschsee im Osten und mit dem Schwarzen

Meer im Westen in Verbindung. Noch immer ist der Kaspisee im Rückgang begriffen und hat im Laufe des 19. Jahrhunderts über 2 m an Höhe verloren. Auch im Jordanbecken war einst ein See von 3000 km Länge, von dem das Tote Meer und der Tiberiassee nur kleine Reste sind. Der Plattensee in Ungarn stand einst 6 m höher als heute.

Das imposanteste Beispiel des Zusammenschrumpfens eines großen abflußlosen Sees bietet die Geschichte des von den amerikanischen Geologen als Bonnevillesee bezeichneten großen Sammelbeckens im Westen Nordamerikas, dessen winziger Rest der heutige Große Salzsee im Staate

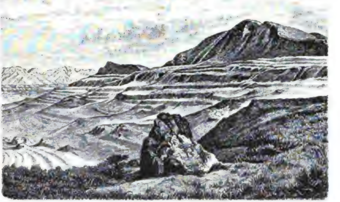


Fig. 149. Stelle des trocken gelegten Bonnevillesees im Staate Utah (N.-A.) mit den verschiedenen Strandterrassen als Zeichen ebenso vieler Perioden eines längeren Stationärbleibens der zurückgehenden Wassermassen.

Utah im westlichen Nordamerika ist. Dort ist zwischen der kalifornischen Sierra Nevada d. h. Schneegebirge und den Rocky Mountains ein dürres vegetationsloses Land, das an Ausdehnung Frankreich weit übertrifft und von verschiedenen in nordsüdlicher Richtung streichenden Gebirgen durchzogen wird. Die nur in der Regenzeit Wasser führenden Flüsse dieses zum größten Teil Wüste darstellenden Gebietes sammeln sich entweder in abflußlosen Seen oder versickern und verdunsten einfach in ihrem Laufe.

Als sich nun in der Diluvialzeit das Klima abkühlte und die verschiedenen Eiszeiten mit vermehrten Niederschlägen einstellten, schwoll der vorher mäßig große Bonnevillesee an und stieg 300 m über seinen

Digitized by Google

vorigen Stand. Während der Zeit dieser großen Ausdehnung lagerte sich gelber Ton in einer Mächtigkeit von 30 m ab. Dann verdunstete das Wasser zum größten Teile wieder und auf dem dadurch trocken gelegten Seeboden entwickelte sich ein Flußsystem, welches in den von ihm in dem teilweise denudierten gelben Ton eingefressenen Rinnen allerlei Flußgeschiebe, hauptsächlich Geröll, ablagerte. Hierauf trat wieder eine niederschlagsreichere Periode ein, der See stieg abermals, und zwar höher als früher, bis zu einem Niveau von 330 m über dem Spiegel des heutigen Salzsees und es lagerten sich 6 m eines kreideartigen, aus winzigen, mit Ton vermengten Kalkschalen von Süßwasserschnecken und anderen limnischen Tierchen bestehenden Mergels ab. Der See war damals kein Salzsee mehr; denn er war so hoch gestiegen, daß das Wasser über seine Ränder abfließen konnte. Dieser Abfluß hat so lange bestanden, daß er allmählich sein Bett 130 m tief durch harten Felsen vertiefen konnte, was einen ungeheuer langen Zeitraum voraussetzt. In dem Maße nahm die Höhe des Sees ab, und so finden wir 130 m unter der 330 m über dem großen Salzsee gelegenen Bonneville-Strandterrasse eine zweite, die durch ihre scharfe Ausbildung ausgezeichnete Provoterrasse. Zwischen diesen beiden liegen noch fünf andere als Zeichen von ebensoviel längeren Stillständen des Sees, dessen Wellen vom Sturme gepeitscht die Strandterrassen im Laufe sehr langer Zeiträume bildeten. Dann wurde das Klima nach dem Ablaufe der Eiszeit trockener, der See erhielt nicht mehr genügend Wasser um seinen Ablauf weiter in den Felsen einzuschneiden, er verdunstete zusehends, bildete keine deutlichen Strandterrassen mehr und schrumpfte zum Großen Salzsee zusammen, dessen Oberfläche immerhin noch 15000 qkm beträgt. Das ist ja allerdings ein ganz respektabler See, wenn man bedenkt, daß der Genfersee nur 573 und der Bodensee 539 qkm bedecken; aber einst hat er bei seiner größten Füllung 50474 qkm oder etwa ²/₃ des Areals des Königreichs Bayern bedeckt. Und neben diesem Riesen, der mehrere große Inseln enthielt und durch weiteinspringende Halbinseln unregelmäßig zerlappt war, lag westlich einst der bedeutend kleinere, aber immerhin noch sehr umfangreiche L a h o n t a n s e e und 19 geringere diluviale Seen, welche heute meist ganz ausgetrocknet oder doch gewaltig eingeschrumpft sind.

Wie sich an den Strandlinien, welche an diejenigen der Meeresküsten erinnern, die wechselnden Schicksale der großen Seen Nordamerikas ausprägen, so können wir gleicherweise an solchen die Geschichte der anderen Seen verfolgen. So flossen einst zur Diluvialzeit

die oberen kanadischen Seen: der heute 82868 qkm große Obersee, der 54386 qkm große Huronensee und der 58009 qkm große Michigansee durch den Ottawa selbständig ab, während der Niagara nur den 28357 qkm großen Eriesee entwässerte. Heute fließen die drei ersteren in den Eriesee und aus diesem durch den Niagara nach dem Meere ab. Damals waren die oberen Seen gegen 40 m höher als heute.

Überall auf der ganzen Erde finden wir einen beständigen Wechsel in der Verteilung von Wasser und Land. Nicht nur Küsten heben und senken sich und ganze Länder werden aus dem Meere emporgehoben oder in dasselbe untergetaucht, ein Vorgang, für den die Wissenschaft die Bezeichnung Transgression, d. h. ein Hinüberschreiten, geprägt hat, sondern alle Wasserbecken, die abflußlosen, wie die Abflußseen, verändern sich beständig. Alle Seen sind nur vorübergehende Bildungen. Sie werden rasch vom Flußgeschiebe, das die in sie einmündenden fließenden Wasser in sie als den gegebenen Klärbecken ablagern, ausgefüllt und entwickeln sich zum Sumpf, zum Moor und schließlich zum trockenen Lande. Alle unsere Alpen- und Juraseen gehen nicht über die letzte Eiszeit zurück, die sie überhaupt erst geschaffen hat, wie die früheren Eiszeiten ihre eigenen Seen bildeten. Und nach der letzten Eiszeit waren sie alle bedeutend größer und standen höher als heute. So stand der Bodensee um wenigstens 30 m höher als heute und weite Strecken des Rheintals oberhalb des Bodensees sind nur ausgefüllter Seeboden. Dieselben Verhältnisse zeigen fast alle Seen, die wegen ihrer relativen Größe noch nicht ganz ausgefüllt worden sind, während die zahllosen von der Eiszeit geschaffenen kleineren alle schon vollkommen verschwunden oder zu Teichen und Tümpeln zusammenschrumpften. Meist zeugen nur ausgedehnte Torfflächen davon, daß hier einst größere, von der Eiszeit geschaffene Wasseransammlungen vorhanden waren. Genaueres über diesen Prozeß der Seenvertilgung soll im letzten Abschnitt dieses Buches mitgeteilt werden.

Fig. 150. Rastort an einer Höhle mit Quelle bei Tosari im Tengergebirge in Ostjava.

Digitized by Google

XII.

Die Verwitterung der Erdoberfläche.

Die durch die Sonnenwärme verdampften Wassermassen, die der Wind in Form von Wolken über die Erde dahin treibt, bis sie sich irgendwo zu Regen oder Schnee verdichten und zu Boden fallen, befruchten zwar mit ihrem Naß das Festland, aber sie helfen gleicherweise mehr oder weniger intensiv an seiner Zerstörung und ruhen nicht, bis dasselbe ganz eingeebnet und aller Berge und Hervorragungen überhaupt beraubt ist. Je größer also die Niederschlagsmengen auf dem Festlande sind, um so energischer ist im allgemeinen die Verwitterung und Abtragung desselben. Wir müssen uns also, bevor wir zu unserem Thema übergehen, über die Verteilung der Niederschläge über die Erde kurz orientieren.

Dem großen Gesetze der Abnahme der atmosphärischen Feuchtigkeit nach den Polen zu entsprechend nehmen die Niederschläge polwärts bedeutend ab. Von rund 2 m Niederschlägen, die in dem Zehngradgürtel nördlich und südlich vom Äquator jährlich fallen, sinken sie auf 70 bis 50 cm bis zum 30° nördlicher und südlicher Breite, heben sich dann in den gemäßigten Zonen, besonders insoweit sie mit Gebirgen bedeckt sind, und sinken auf der Nordhalbkugel im Gürtel zwischen dem 70° und 80° auf 36 cm herab.

Wohl ist das Meer weitaus die größte Quelle des regenbildenden Wasserdampfes, aber über ihm selbst sind die Regenmengen verhältnismäßig geringer und hauptsächlich weniger ausgiebig als über dem Land, da hier die Anlässe zu starken aufsteigenden Luftströmen fehlen. Dafür sind im allgemeinen die Küstengebiete im weiteren Sinne mit Einschluß der küstennahen Gebirge am regenreichsten. Von ihnen nimmt sowohl meer- als landwärts die Regenmenge ab. Regenarm sind nur solche

Küsten und Inseln, die von einem meist durch kalte Strömungen abgekühlten Meere umgeben sind, indem dort die Niederschläge erst auf den zurückliegenden Höhen fallen. Das sieht man deutlich an Südwestafrika und Kalifornien.

In den gemäßigten Landstrichen sind die Regenmengen nur in den Gebirgen, die sich feuchten Luftströmen entgegenstellen, groß, nehmen aber im allgemeinen von den Küsten gegen das Innere rasch ab, und zwar am rascheſten an den Grenzen der Passatgebiete. Dabei ist für uns im Innern Europas der Regen vorwiegend der Begleiter von Windwirbeln, die wir im IV. Abschnitt als Zyklone kennen gelernt haben, welche die feuchte Luft vom Atlantischen Ozean nördlich von der Passatgrenze über die Länder hintragen. Dabei kündet Erniedrigung des Luftdrucks ihr Vorhandsein an.

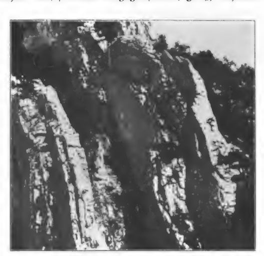


Fig. 151. Senkrecht aufgerichtete Kalksteinrippen des Sequan oder mittleren Malms aus der Klus von Moutier im Berner Jura. Indem in diesem durch das fließende Wasser quer durchschnittenen Faltengewölbe des Juras die dazwischen liegenden weicheren Mergelschichten herausgewaschen wurden, traten die viel härteren Kalke, welche natürlich der Erosion bedeutenden Widerstand leisten, mauerartig hervor.

Absolut regenlose Gebiete sind auf der Erde kaum zu finden. So fallen selbst in Wüsten gelegentlich Strichregen, die oft gewaltige Wassermassen auf einen beschränkten Raum ausgießen, deren ungestümer Abfluß dann tiefe Schluchten auswühlt. Es gibt zwar im Innern der Hochländer Südamerikas Gegenden, die den Regen nicht kennen, in dem es im heißen Sommer nie regnet und im Winter nur schneit. Auch in den arktischen Regionen gibt es weite Gebiete, wo die überhaupt sehr geringen Niederschläge nur in fester Form erfolgen, und zwar fallen dort nur im Sommer eigentliche Schneeflocken, wie wir sie kennen. Im Winter dagegen fällt der Niederschlag fast nur in Form eines feinen

Eisstaubes, der die Luft selbst an klaren Tagen erfüllt und erst nach sehr langer Zeit auf dem Boden eine Schicht von merklicher Dicke absetzt.

In den meisten Gebieten fallen die Niederschläge nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt, sondern in bestimmten Jahreszeiten gehäuft, und zwar überwiegen in einem Meerklima die Winterniederschläge, in einem Landklima dagegen die Sommerregen, welche in den wärmeren Gegenden mehr als Frühsommer-, in den kälteren dagegen mehr als Hochsommerregen auftreten.

Und alle diese Niederschläge, die zu Boden fallen, arbeiten unermüdlich, bald chemisch, bald mechanisch an der Gesteinszerstörung. Der Regen wie der schmelzende Schnee dringen überall nicht nur in den schon gelockerten Boden, sondern in die härtesten Felsen ein. Es gibt überhaupt kein Gestein, das vollkommen frei von Klüften, Fugen und Spalten wäre. Wenn wir dieselben auch nicht offen finden, so sind sie doch im Gestein vorgezeichnet als Richtungen, nach denen sich der Fels leichter trennt und in denen Wasser leichter eindringt als in andern. Dabei ist zu bedenken, daß dieses eindringende Wasser nicht vollkommen rein, d. h. chemisch indifferent ist. Es enthält, wie wir bereits wissen, vor allem die Gasarten der Luft in sich gelöst. Der vor allem wichtige Kohlensäuregehalt macht es zu einer schwachen Säure, der Sauerstoffgehalt zu einem schwachen Oxydationsmittel, der nicht seltene Gehalt an aus dem mit Humusstoffen durchtränkten Boden ausgelaugten organischen Substanzen zu einem schwachen Reduktionsmittel.

Fig. 152. Garden of Gods in Manitou (N.-A.). Diese phantastischen roten Sandsteine sind die Schichtköpfe der am Felsengebirge aufgerichteten Sedimentschichten, welche der Verwitterung bisher widerstanden und nun in eine Ausdehnung von über 100 km als solche merkwürdige Säulen und Steinwände in die Luft ragen. Daher ist es kein Wunder, daß die ehemaligen Herren des Landes, die Indianer, die mannigfaltigsten Sagen mit den absonderlichsten dieser Erosionsformen verknüpften.

Was nun dem in alle Gesteinsfugen eindringenden Wasser an unmittelbarer chemischer Energie abgeht, das wird reichlich ersetzt

Digitized by Google

durch die sich immer erneuernde Masse und durch die unbegrenzt lange Dauer der Einwirkung. Wie der einzelne Tropfen durch sein fortwährendes Fallen den Stein, auf den er aufprallt, immer mehr aushöhlt und ihn schließlich vernichtet, so zerfrißt und laugt das bißchen in die Gesteine sickernde Wasser mit der Zeit ganze Berge aus. Denn, was für den Chemiker fast unlöslich ist, das ist für den Geologen sehr wohl, ja oft sogar leicht löslich zu nennen. So ist z. B. die Kieselsäure, also der Quarz, der in reiner Form den überaus harten Bergkristall bildet, nach den Angaben des Chemikers in Wasser und Säuren, mit Ausnahme der überaus ätzenden Flußsäure, d. i. Fluorwasserstoff, vollkommen unlöslich, und wird nur im Knallglasgebläse bei den höchsten uns zur Verfügung stehenden Temperaturen zu einem durchsichtigen Glase geschmolzen, das in neuester Zeit, da man es herzustellen gelernt hat, eben wegen seiner vollkommenen Unangreifbarkeit und chemischen Indifferenz gegen alle scharfen Ätzmittel, die alle anderen Gefäße angreifen und mit der Zeit zerstören, eine überaus wertvolle Bereicherung des Instrumentariums der chemischen Laboratorien darstellt. Aber in der Natur sehen wir das vollkommen harmlos und chemisch indifferent erscheinende Sickerwasser, das als Regen oder Schnee auf die Berge fällt, in diese durch Klüfte eindringen, die Kieselsäure als wäre es eine überaus lösliche Verbindung aus den Gesteinen lösen und in Hohlräumen wieder ausscheiden in Gestalt von oft gewaltigen Drusen von Bergkristall oder Amethyst oder Rauchtopas, Citrin, Rosen-, Saphir- oder Milchquarz, Hyacinth und wie die Körper alle heißen, in welchen die Kieselsäure durch leichte Beimengungen von gewissen anderen Stoffen leicht gefärbt ist. Wie der amorphe Quarz zahllose Klüfte im Gebirge ausfüllt, kristallisiert er in zierlichen kleinen Kriställchen in den Hohlräumen versteinerter Muschelschalen im Innern der Berge aus oder bildet beim Herabtropfen in Höhlen wie der Kalk Quarztropfsteine.

Das kohlensäurehaltige Sickerwasser vermag mit Leichtigkeit sogar die widerstandsfähigsten Silikate zu zersetzen und ihnen Kalium, Natrium, Calcium, Eisen usw. in Form von Karbonaten, d. h. kohlensauren Verbindungen, zu entziehen. Und wenn diese dann von wasserundurchlässigen Schichten im Gebirge nach außen geleitet als Quelle zutage treten, finden wir alle diese Stoffe, die natürlich dem Regenwasser fremd sind, in ihrem Wasser gelöst. Das oft in Gestalt von grauen, grünen, schwarzen, braunen oder gar farblosen Verbindungen in den Gesteinen steckende Eisen, wird durch den Sauerstoff des Sickerwassers

und der feuchten Luft zu Rost oxydiert. Daher die rostrote Färbung so manchen Berggipfels, der ihm seinen Namen verdankt, wie Rotstock, Rothorn usw.

Wie wir bereits in einem früheren Abschnitte gesehen haben, spielt die im Sickerwasser enthaltene Kohlensäure bei der Verwitterung der Gesteine weitaus die größte Rolle. Sie löst die überaus harten Silikate mit derselben Leichtigkeit wie Kalksteine. Indem die gelöste Kohlensäure aus den Silikaten alle Basen herauslaugt, bleibt schließlich von ihnen nur Kaolin oder Tonerde und Quarz zurück. Ersteres wird als lockere Masse weggeschwemmt und so bleibt schließlich von den härtesten Gesteinsarten, wie Granit und Gneis, nur Quarzsand übrig, den das fließende Wasser in die Bäche und Ströme und zuletzt ins Meer weiterverfrachtet.

Mit der Zunahme des Kohlensäuregehaltes der Luft, wobei sich natürlich auch der Kohlensäuregehalt des Sickerwassers vermehrt, wächst die Energie der Verwitterung und zwar ungefähr dem Quadrate der Kohlensäurevermehrung der Luft proportional. Da aber mit Zunahme des Kohlensäuregehaltes der Luft in entsprechender Weise auch die Temperatur und damit auch der Wasserdampfgehalt der Luft steigt, so vermehren sich gleichzeitig entsprechend die Niederschlagsmengen aus der Atmosphäre. Und diese beiden Umstände vermehren und unterstützen natürlich die betreffenden Umsetzungen, welche zur Verwitterung führen, in hohem Maße.

Ungefähr in derselben Weise verhält sich die Vegetation, welche in ihrer auf der Assimilationsfähigkeit beruhenden Existenz ganz auf den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre angewiesen ist. Auch das üppige Gedeihen der Pflanzen nimmt, wie eingehende Versuche gezeigt haben, entsprechend der Kohlensäurezunahme in der Luft zu. Es spielt also diese an sich für die Lebewesen irrespirable und dadurch in zu großer Konzentration der Atmungsluft beigemengte giftige Kohlensäure, die die Vulkane aushauchen, eine überaus wichtige Rolle im Haushalte der Natur und erhält für alle Vorgänge, die sich an der Oberfläche unseres Planeten abspielen, eine so große Bedeutung, wie sie sonst keinem andern Agens zukommt.

Die durch die Aufnahme von Wasser, das Kohlensäure und andere aus der Luft und aus dem Boden aufgenommene Stoffe in sich gelöst enthält, verwitternden Gesteine ändern zuerst die Farbe der äußeren Kruste und der Grenzteile längs den Fugen und Klüften. Immer tiefer dringt die Farbenveränderung hinein, die Spaltungsflächen verlieren bald

ihren Glanz, der Bruch wird mehr und mehr erdig, das Gefüge der einzelnen Mineralkörner und des ganzen Gesteins ändert sich, und endlich fällt das Ganze bei der geringsten mechanischen Einwirkung in einzelne Brocken, das ist zu Grus, auseinander.

Das Auseinandersprengen der durch allerlei chemische Einflüsse veränderten Gesteine bewirkt dann der Frost dank der Eigentümlichkeit des Wassers, sich beim Gefrieren auszudehnen. Wie Wasser in einer Hohlkugel aus dickem Eisen, unter den Gefrierpunkt abgekühlt, bei der geringsten Erschütterung plötzlich gefrierend diese mit Leichtigkeit in Stücke reißt, so zersprengt es in gleicher Weise, durch die feinsten Fugen und Risse in das Innere der Gesteine dringend, dieselben. Besonders intensiv ist diese Gesteinszertrümmerung in Gebirgen, wo starker und rascher Temperaturwechsel um den Gefrierpunkt des Wassers herum eintritt und namentlich die Nachtfröste häufig sind.

In wärmeren Gegenden, wo die Temperatur selten oder nie auf den Gefrierpunkt des Wassers herabsinkt, fehlt zwar eine solche mechanische Zerstörung. Aber auch ohne das Gefrieren üben schon die grellen Temperaturunterschiede von Tag und Nacht einen unheilvollen Einfluß auf die Gesteine aus, wie wir in den Wüsten beobachten können. Bei Tage von der vom wolkenlosen Himmel strahlenden Sonne vollkommen durchglüht, erleiden diese Gesteine in der sternklaren Nacht durch die überaus intensive Ausstrahlung der tagsüber aufgenommenen Hitze eine bedeutende Abkühlung, die, sobald die Sonne wieder über dem Horizonte auftaucht, einer erneuten starken Erhitzung weicht. Da nun jede solche Erwärmung eine starke Ausdehnung und jede Abkühlung eine entsprechende Zusammenziehung des Gesteins mit sich bringt, so lockert diese Wochen, Monate und Jahre hindurch fortgesetzte und sich stetig wiederholende Temperaturänderung allmählich das Gefüge, den Zusammenhang der einzelnen sich verschieden ausdehnenden Mineralbestandteile und läßt so schließlich die größten Felsen in Scherben und Trümmer zerfallen.

In anderen Gegenden, wo die Niederschläge reichlich fallen und eine kräftige Vegetation sich ansiedelt, ist auch diese vielfach geschäftig an der Zerstörung der Gesteine beteiligt. An den härtesten Granitfelsen, die senkrecht oder gar überhängend in die grausige Tiefe abstürzen, siedelt sich die genügsame und ausdauernde Nährgenossenschaft von Pilz und Alge, die wir als Flechte bezeichnen, an und ätzt durch ausgeschiedene Säuren unablässig den ihr zur Unterlage dienenden Stein an. Ihre bei Wasserzufuhr schwellenden und bei Austrocknung vollkommen dürren Polster sind in den unteren, allmählich absterbenden Teilen wichtige

Staubfänger, an denen der vom Winde herbeigetragene Staub in immer größerer Menge hängen bleibt. Mit ihm kommen auch die Keime verschiedener Felsenmoose herangeflogen, wachsen aus und verdrängen die bescheidene Krustenflechte. Ihre dichteren Polster sammeln in ihren ab-

Fig. 153. Partie aus der Lybischen Wüste etwa 200 km südlich von Alexandrien. Durch den schroffen Temperaturwechsel ist der anstehende Sandstein in Sand aufgelöst, der durch den Sturmwind weiter getragen wurde. Dadurch witterten die hier meilenweit die Wüste bedeckenden verkieselten Baumstämme heraus, welche mächtigen Koniferen der Eocänzeit angehörten, die durch Imprägnation mit kieselsäurehaltigem Wasser, vielleicht aus warmen Quellen, versteinerten. Wie wir gesehen haben, bedeckte das Meer zur Tertiärzeit den ganzen nördlichen Teil dieser Wüste. Ein großer, vielleicht dem Nil entsprechender Fluß ergoß sich aus dem jetzt wüsten, damals aber stark bewaldeten Innern ins Meer, große Mengen von Sand, Treibholz und vereinzelte durch Wassertransport beschädigte Knochen von Landsäugetieren mit sich schleppend, die in deutlicher, nach Norden abfallender Schichtung abgelagert wurden.

gestorbenen Partien noch mehr Staub, bis schließlich in dem immer reichlicher mit nahrhafter Erde angefüllten Polster sich höhere Pflanzen, wie Gräser, Nelken und Korbblütler ansiedeln und die Moose verdrängen. So folgt in hartem Kampfe mit den Elementen und den zahllosen

Digitized by Google

Konkurrenten auf dem Moder abgestorbener Geschlechter eine neue, der veränderten Unterlage noch besser als die vorige angepaßte Pflanzenart der andern, bis nach Jahrhunderten und Jahrtausenden, in niemals stillstehendem Wechsel, über dem starren Fels wie über dem See, in dem sich eine Pflanzenform nach der andern als Schlammfänger beteiligt hat, bis das tiefgründige Wasser ganz ausgefüllt wurde und dem Leben in anderer, besserer Weise nutzbar gemacht war, schließlich die Wipfel des Hochwaldes rauschen.

Und auch dieser Hochwald senkt, wie alle kleineren und bescheideneren Pflanzengeschlechter vor ihm, seine Wurzeln in die Fugen und Klüfte des Gesteins hinab und löst die es zusammensetzenden Mineralien auf, um sich daraus seinen Bedarf an Nährsalzen zu holen. Indem die zahllosen winzigen Wurzeln überall hineindringen, eine Säure ausscheiden und das Gestein angreifen und lösen, bereiten sie ihren Nachfolgern die Stätte vor. Kräftigere Pflanzenwurzeln senken sich dann in die feinen Risse ein und mit dem allmählichen Wachstum durch Dickenzunahme und dem Erstarken der zarten Gewebe werden die Klüfte mehr und mehr erweitert, bis schließlich die großen Wurzeln mächtiger Bäume eindringen, durch ihr energisches Dickenwachstum sie zu großen Spalten auseinanderreißen und so schließlich die mächtigsten Felsen zersprengen. So zersprengen die Bergföhren in wenigen Jahrzehnten kubikmetergroße Blöcke des härtesten Gesteins. Andere solche mit Berücksichtigung ihrer Kleinheit nicht weniger gewaltige Gesteinszertrümmerer sind auch die Alpenrosen und die Steinbreche, die Saxifragen, welch letztere ihren Namen nicht umsonst führen.

Neben den Riesen der Pflanzenwelt sind die winzigsten Zwerge derselben nicht minder eifrig in der Zerstörung und Urbarmachung des harten, sterilen Felsbodens tätig. Winzige Spaltpilze, deren man viele Tausende neben einander legen muß, bis nur die Länge eines Millimeters erreicht ist, die sogenannten Nitrobakterien, spielen bei der Auflockerung und Verwitterung der Gesteine, wie man in allerjüngster Zeit erst erkannt hat, ebenfalls eine überaus wichtige Rolle, indem sie den Ammoniak des Bodens, der bei der Auflösung der abgestorbenen Pflanzen- und Tierleiber durch Fäulnisbakterien entsteht, in Salpetersäure beziehungsweise deren Salze umwandeln und damit erst den Boden für die höheren Pflanzen, die solche zur Bildung der Eiweißkörper bei ihrem Wachstume durchaus nötig haben, aufschließen. In Schiefern, Graniten, Kalken und allen anderen Gesteinen findet man sie in großer Menge. Im Sommer verwittern sie unermüdlich die Gesteine, auf

und in denen sie sich ansiedeln. Im Winter dagegen verharren sie, wie auch die höheren Pflanzen, in Anabiose, d. h. in einem an Leblosigkeit gemahnenden Ruhezustand. Müntz fand sie auf allen von ihm untersuchten Bergspitzen so gut wie in den Niederungen, am Pic du Midi, am Monte Rosa, Mont Blanc, Gotthard, in den Vogesen und anderwärts. Durch ihre Tätigkeit in erster Linie ist das Faulhorn im Berner Oberland zu einem faulen Horne geworden, da sie die Oberfläche seines Tonschiefers dank seiner leichteren Zerblätterung besonders energisch zu zerstören vermochten.

Diese unscheinbaren Nitrobakterien besitzen außerdem noch wie alle Pflanzenwurzeln die wichtige Fähigkeit, den kohlensauren Kalk der Gesteine aufzulösen und teilweise zu organischer Substanz zu verarbeiten. Damit geben sie die im Gestein gebunden gewesene Kohlensäure dem Kreislaufe in der Natur wieder zurück und erweisen damit dem Gesamthaushalte der Biosphäre den größten Vorteil.

Sogar mit ihrem Absterben nützen sie, indem sie, wie alle Leiber von Pflanzen und Tieren, durch die Fäulnisbakterien bei ungehindertem Luftzutritte zuletzt in Kohlensäure und Wasser aufgelöst werden, die der Gesamtheit direkt und indirekt wieder zugute kommen. Wo aber diese Stoffe, hauptsächlich verwesende Pflanzenstoffe, sich in solcher Menge anhäufen, daß eine direkte rasche Auflösung und Zerstörung nicht erfolgen kann, da findet eine verwickelte Umbildung statt, bei welcher außer Kohlensäure und Wasser sich noch verschiedene Verbindungen, wie Humin, Geïn und Säuren, wie Humussäure, Geïnsäure, ferner Glieder der Fettsäurereihe, wie Ameisensäure usw. bilden. Diese wirken als energische Lösungsmittel auf die unter der Moderschicht liegenden Gesteine, indem sie, vom Sickerwasser in immer tiefere Schichten transportiert, diese immer weiter hinab zersetzen und verwittern lassen. Besonders in den kälteren Erdteilen und auf den Bergen tritt diese Wirkung der Humussäure und der übrigen Zersetzungsprodukte stark hervor. Als Endprodukt bildet sich dann eine immer mächtiger werdende Schicht von Dammerde oder Ackerkrume, dem Humus, der aus einem Gemenge von pflanzlichem Moder mit den Verwitterungsprodukten der betreffenden Gesteine besteht und einen kohlenstoffreichen braunen Staub darstellt. An manchen Orten ist diese Humusschicht, mit kalkhaltigem Lehm vermengt, überaus mächtig entwickelt, wie in dem bekannten Dunkelboden bei Regensburg und der als Tschernosem bezeichneten Schwarzerde, welche ganz Südrußland außer der Krim und den nordkaspischen Gebieten in einem zwischen 300 und 500 km breiten Streifen bedeckt,

Auch weite Gebiete Westsibiriens werden von einer dieser ähnlichen Schwarzerde 25 bis 35 cm hoch bedeckt.

Bei uns dagegen, wo die, geologisch gesprochen, jüngst erst vergangene letzte Eiszeit die Landoberfläche so überaus energisch denudiert oder mit ihren Flußgeschieben erfüllt hat, erreicht der Humus keine so

Fig. 154. Die bei der maximalen Ausdehnung während der letzten Eiszeit vom Isargletscher bei Hohenschäftlarn abgelagerte Stirnmoräne. Von dieser sogenannten Jungendmoräne des Gletschers gehen die Schotter der Niederterrasse aus, auf denen München gebaut ist. (Nach Photogramm von Dr. K. Leuchs.)

große Mächtigkeit. Stets ist er aber eine Schicht von überaus gleichmäßiger Beschaffenheit, welche, wie der große Charles Darwin zuerst nachwies, diese merkwürdige Eigenschaft ausschließlich der unermüdlichen Tätigkeit der Regenwürmer verdankt. Indem sie überall im Boden nicht nur ihre Gänge wühlen, sondern die Erde selbst essen, um die in ihr noch enthaltenen nahrhaften organischen Bestandteile zu verdauen und so aus-

zunützen, und sie dann in Gestalt von krümeligen, erdigen Kotballen, wie man sie morgens überall am Boden frisch ausgestoßen vorfindet, an die Oberfläche zu befördern. Diese gerundeten, aus äußerst feiner Erde bestehenden Kotballen werden vom nächsten Regen zerwaschen und gleichmäßig über den Boden verteilt. Indem so die zahlreichen Regenwürmer ununterbrochen von ihnen verdaute, mechanisch und chemisch zerkleinerte Erdteilchen an die Oberfläche bringen, wird diese beständig erhöht und alle festeren Partikel und Steinchen, die diese Tiere nicht verdauen können, sinken entsprechend in die Tiefe. So schafften sie, wie Darwin im Jahre 1837 auf einem Gute in Staffordshire durch eingehende Untersuchungen feststellte, in 10 Jahren eine 7 bis 8 cm hohe Erdschicht über eine in Form von Kalkstaub und kleinen Kalkklümpchen ausgestreute Dungschicht. Auf diese Weise versinken durch die unermüdliche Arbeit, wenn wir das Essen der Würmer als solche bezeichnen dürfen, dieser verachteten Tiere alle auf den Boden ausgestreuten oder auf ihm verloren gegangenen Gegenstände in die Tiefe. So wurden uns nicht nur vorgeschichtliche Steinbeile und Hämmer, die ihren einstigen Besitzern abhanden kamen, sondern auch große Mosaikfußböden der luxusgewohnten Römer tadellos erhalten. Dadurch, daß eben die gesamte Ackerkrume im Laufe der Zeiten immer und immer wieder ihren Weg durch die Därme der Regenwürmer nimmt, wobei alle fremden gröberen Bestandteile in die Tiefe versenkt werden, bekommt sie ihre überaus feine gleichmäßige Beschaffenheit, welche nur da zum größten Teile verschwindet, wo in der seit der letzten Eiszeit gebildeten dünnen Humusschicht der tiefgreifende moderne Pflug immer wieder die von den Regenwürmern nach unten geschafften, noch nicht verwitterten Gesteinsbrocken mit in die Höhe bringt. So finden wir in ehemals vergletscherten Gebieten nur da, wo der Pflug nicht hinkommt, so besonders im Walde und auf den Weiden, den reinen Humus, wie ihn die Würmer schaffen, entwickelt.

Der Humus ist in hohem Maße hygroskopisch, d. h. feuchtigkeitanziehend, gleichzeitig nimmt er die Gase der Luft in großen Mengen auf und wirkt auf Wasser, das in seinen Bereich kommt, gerade wie ein Schwamm. Man hat bestimmt, daß in den Hohlräumen des Humusbodens 80 bis 86 Prozent des darauf fallenden Wassers verschwinden, was für die darauf wachsende Pflanzenwelt natürlich von der allergrößten Wichtigkeit ist.

„Die Entstehung einer Humusdecke", sagt Ratzel im ersten Bande seines bereits zitierten Werkes ‚Die Erde und das Leben', „kann man

am besten auf den Lavaströmen studieren, von denen man weiß, wann sie geflossen sind. Man kann das Einwandern und Ansiedeln zuerst der kleinen und unscheinbaren und dann immer höherer, anspruchsvollerer Pflanzen Stufe für Stufe verfolgen. Algen und Flechten streiten miteinander um den Vorrang, dann kommen Moose, darauf Lebermoose, nach diesen Farne und Bärlappgewächse. Wo sich etwas vulkanische Asche angesammelt hat, entwickeln sich gar bald Diatomaceen und andere

Fig. 155. „Geologische Orgeln" im Gleißental bei München. In die Schotter der von der letzten Eiszeit herrührenden Niederterrasse, die von einer dünnen, nur 30—40 cm dicken Humusschicht bedeckt sind, wurden nachträglich vom fließenden Wasser Strudellöcher eingegraben. (Nach Photogramm von Dr. K. Leuchs.)

kleine Algen. Das erklärt die Sage, daß solche Algen von den Vulkanen ausgeworfen würden. Flechten sind die ersten Pflanzen, die man auf frischer Lava mit dem bloßen Auge sieht. Aber auf Laven, die nicht älter als zehn Jahre sind, sind sie so klein und versteckt, daß man sie schwer wahrnehmen kann. Die häufigste und eigentümlichste Flechte der vesuvianischen Lava, Stereocaulon vesuvianum, wächst auf der Lava schon, wenn die Oberfläche nur das Anheften des Keimes erlaubt; fehlt

der Staub der Zersetzung auf der Lava, so genügt das Vorhandensein dauernder Feuchtigkeit, um den Keim sich entwickeln zu lassen. Auf Laven von 12—15 Jahren fand man sie im Atrio del Cavallo sowohl auf glasiger, polierter als auch auf rauher Oberfläche, aber auf jener bleibt sie schwach und klein. Nur auf den noch älteren Laven wird sie ganz buschig und groß. Sie gedeiht nicht, wo die Lava durch die Einwirkung unterirdischer Gase mit weißem oder rotem aschenartigem Überzug bekleidet ist, und ist häufiger am Fuße des Berges als in den dem Herde näher gelegenen Höhen. Auf der lockeren vulkanischen Asche Islands spielt die Flechte die Rolle des ersten Festhalters und Zusammenhalters; ihr folgen Moos und Gras. Man kann beobachten, daß, wo diese Decke einen Riß bekommt, der dem Einbrechen des Windes günstig ist, der lockere Boden in Bewegung kommt, die Decke aufgerollt wird und die Flugsandbildung beginnt. Der isländische Ackerbauer führt ununterbrochene Kämpfe gegen solche Wunden in seinem ohnehin so kargen Wiesenboden.

Der Humus ist nicht bloß ein Produkt der Lebenstätigkeit, sondern zugleich und zuerst ein mechanisches Erzeugnis. Er ist nicht bloß Wachstum, sondern auch Niederschlag, und zwar Niederschlag des Staubes aus der Luft, aus dem Wasser und dem Schnee. Das erkennt man am besten, wenn man die Verwandlung einer Schutthalde in einen Humusboden beobachtet. Die Humusdecke wächst aus und zwischen dem Schutt hervor. In den ersten Stufen ihrer Entwicklung ruht sie unter einer Decke von Stein und Erde. Man verfolge eine Pflanze des schildblätterigen Ampfers oder des gelb blühenden Huflattichs, wie sie aus der Tiefe des dürren Gerölles oder scharfkantigen Schuttes, in welchen der Humus 10—20 cm unter der Oberfläche liegt, sich ans Licht drängen, und man gewinnt das Bild eines aus der Tiefe zum Lichte strebenden, zwischen und über Trümmer weg sich durchringenden Lebens. Der Erfolg der Wachstumsarbeit von Generationen ist dann die Ausfüllung der Lücken des Schuttes und das Hinauswachsen über denselben und endlich die Bildung eines grünen, mit Blumen durchwirkten Teppichs, der über alle die Kanten und Lücken des steinigen Untergrundes ausgebreitet wird und nur die größten Felsblöcke noch frei hervorschauen läßt. Ganz ähnlich ist die Bildung des humusreichen Marschbodens ein Wachsen aus dem Seegrund aufwärts: die bei hohem Wasser senkrecht emporragenden Blätter von Zostera maritima, dem Seegras, bilden Reusen, die den Schlamm auffangen und festhalten und damit den Boden schaffen, auf dem später Graswuchs aufkeimt.

So wie man jenen Teppich hier aus den Spalten der Gesteinstrümmer hervorwachsen sieht, so ist er auch in größeren Räumen von unten nach oben gewachsen. So machte in den Alpen der Rückzug des Eises erst Raum für Pflanzenwuchs, der bis dahin in die tieferen Täler gebannt gewesen war und nun erst langsam sich ausbreitete. Man kann noch immer diesen Prozeß sich wiederholen sehen auf vom Eise verlassenem Gletscher- oder Lawinenboden. Er wird auch niemals ganz zur Ruhe kommen. Mit jeder Klimaschwankung geht auch der Humusboden zurück oder schreitet vorwärts. Weitverbreitet ist z. B. in unseren Alpen die Auffassung, daß das Weideland infolge einer Verschlechterung des Klimas in ständigem Rückgange sei; sie tritt als Sage von der durch einen Fluch in Gletscher oder Steinfeld verwandelten blühenden Alm auf, man kann sie aber auch aus der Statistik der Alpweiden und aus den Steuerlisten belegen. In großem Maße sind die Gletschervorstöße unserer Alpen nach 1815 dem Humusboden der Gebirge verderblich geworden."

In der kalten gemäßigten Zone ist der Humus die gewöhnliche Bodenformation, als der Ausdruck eines feuchten, schneereichen, einen Teil des Jahres in Frost liegenden Bodens, an dessen Aufbau der Schutt alter Vergletscherung wesentlichen Anteil nimmt. Der auf ihn fallende Regen und Schnee befruchtet ihn nicht nur, sondern düngt ihn geradezu. Nicht nur schlagen beide Arten von Niederschlägen den unorganischen und organischen Staub zu Boden und halten ihn dort fest, sondern sie enthalten auch die atmosphärischen Gase in sich aufgelöst und teilweise verdichtet. Unter diesen ist das Ammoniak mit den salpetersauren und salpetrigsauren Verbindungen für die Pflanzenwelt weitaus am wichtigsten, weil sie einen überaus wichtigen Stickstoffdünger darstellen. Dieser entsteht unter Einwirkung von stillen, ganz unmerklich in der Luft vor sich gehenden Entladungen. Ihn bindet dann der Regen und noch etwa fünfmal mehr der Schnee und Reif beziehungsweise Rauhreif. Es liegen also dem alten Bauernspruche, daß der Schnee dünge, vollkommen richtige Anschauungen zugrunde, die die Wissenschaft neuerdings zahlengemäß hat feststellen können. Man hat nämlich gefunden, daß der Ammoniakgehalt des Regens in der Nähe von Paris etwa doppelt so groß im Januar wie im Juli ist, d. h. 3,7 beziehungsweise 1,5 mg per Liter, im Mittel 2,0 mg beträgt. Es wird also dem Boden bei Paris jährlich durch Niederschlag pro Quadratmeter 1,04 g Ammoniakstickstoff und 0,4 g Nitrat- und Nitritstickstoff zugeführt. Auf dem Lande in Frankreich und England ist die Stickstoffzufuhr zum Boden nur etwa $^2/_3$ so groß. Für Belgien wurde

zu Gembloux ein Stickstoffgehalt des Regens von 1,41 mg Stickstoff pro Liter, einer Stickstoffzufuhr von 1,03 g pro Quadratmeter und Jahr entsprechend, nachgewiesen. Für Deutschland haben die Beobachtungen in Regenwalde eine jährliche Zufuhr von 1,56 g Stickstoff pro Quadratmeter zum Boden festgestellt.

Je stärker nun eine solche Düngung des Bodens ist, um so intensiver wird der Humusboden von den höheren Pflanzen besiedelt, die einen dichten Rasen auf ihm bilden. Dieser verzögert natürlich die Verwitterung der in einiger Tiefe darunter liegenden Gesteine während dagegen ein lückenhafter Pflanzenteppich diese entsprechend der kleineren oder großen Zahl von Lücken, die er aufweist, vielmehr befördert. Da, wo bei uns der Humus durch die Gletscher der Eiszeiten, deren letzte, geologisch gesprochen, vor kurzem erst vergangen ist, weggefegt wurde und der darunter liegende harte Fels, von den Gletschern geschliffen, zutage trat, kann die Herauswitterung, die sonst aus dem kristallinischen Gestein die härteren Mineralien, aus dem tonigen Sandstein die quarzreicheren Schichten, aus dem Riffkalk die dichtesten Partien mit der Zeit hervortreten läßt, die aus dem Schichtvulkane den dichteren Lavakern als Phonolitkuppe stehen läßt, die harte Quarzgänge aus weicheren Gesteinen herausarbeitet und die Gneis- unb Granitberge des Schwarzwaldes und der Vogesen von den mächtigen, sie einst bedeckenden Schichtgesteinen entblößt hat, oft auch harte Gesteine auffallend rasch zersetzen. So zersetzt sie den doch als hart bekannten Granit, wo er dem Zutritt der Luft und der Atmosphärilien ausgesetzt ist, nicht gleichmäßig über weite Flächen, sondern nur stellenweise, und zwar bisweilen so tief, daß die merkwürdigsten runden Blöcke von oft gewaltigen Dimensionen übrig bleiben. So findet man vielfach in Granitgegenden solche kleinere und größere Blöcke, die der Verwitterung widerstanden, zerstreut an der Oberfläche liegen oder zu eigentlichen Felsenmeeren angehäuft. Ist dabei etwa ein Riesenblock zufällig auf einer Gesteinskante stehen geblieben, so kann man ihn als sogenannten Wackelstein wackeln machen, wozu oft schon die Gewalt des Sturmwindes hinreicht. Ein solches Granitfelsenmeer liegt z. B. bei der Luisenburg im Fichtelgebirge. Auf den niederschlagsreichen jüngst erst von Gletschern entblößten Inseln Südchiles und in dem vom skandinavischen Inlandeise in eine Rundhöckerlandschaft verwandelten, gründlich abgehobelten Lande der tausend Seen, Finnland, gibt es einen Granit, der sich vor andern durch seine merkwürdig rasche Zersetzung auszeichnet, weshalb man ihm den bezeichnenden Namen Rapakiwi, d. h. fauler Stein, verliehen hat.

Sehr energisch ist die durch chemische Zersetzung und mechanische Auflösung bedingte Verwitterung überall in den Tropen als Folgeerscheinung der dortigen Witterungsverhältnisse. Dabei werden die verschiedensten Gesteine, in erster Linie der weitaus vorherrschende Gneis, dann aber auch die kristallinischen Schiefer und Schichtgesteine, ja sogar der Basalt und andere Eruptivmassen durch die überreich vorhandene Feuchtigkeit, die hohe Temperatur und den durch die üppige Vegetation bedingten Kohlensäurereichtum des Sickerwassers völlig aufgeweicht und in ein schwammiges, sehr eisenreiches, toniges oder tonigsandiges Verwitterungsprodukt umgewandelt, in dem alle überhaupt zersetzbaren Mineralien aufgelöst sind. Dabei wird der ganze Gehalt an Eisen durch Oxydation in Braun- und Roteisen übergeführt, wodurch dieses Verwitterungsprodukt intensiv braun und rot gefärbt wird. Das ist der vielgenannte Laterit, das verbreitetste Oberflächengebilde in den feuchten Tropengebieten, das in Afrika 49, in Brasilien 43 und in Südasien 46 Prozent der Bodenfläche einnimmt. Man kann an anstehenden Felswänden die „Laterisierung" bis 30 m tief verfolgen und ist zuletzt unsicher, wo man die Grenze zwischen dem halb zersetzten und unzersetzten Gesteine ziehen soll. Den Namen, von later Ziegelstein, hat er von seiner roten Farbe. Er kann unter Umständen überaus hart werden, ist aber wegen seines lockeren Gefüges sehr wasserdurchlässig und für den Pflanzenanbau lange nicht so günstig wie unser Humusboden. Bisweilen ist die Struktur des zersetzten Gesteines in ihm noch nicht ganz verwischt, indem körniger Granit, Gneis und basaltische Gesteine, welche größere widerstandleistende Kristalle verschiedener Mineralien als Einsprenglinge enthalten, ebenso feingefaltete Tonschiefer als die ursprüngliche Form des Laterits noch ziemlich gut zu erkennen sind.

Viel verbreiteter als diese an Ort und Stelle entstandenen Laterite mit erhaltener Struktur der umgewandelten Gesteine sind in den Tropen Anschwemmungen dieser selben Materialien, indem sie dem fließenden Wasser im allgemeinen wenig zu widerstehen vermögen, daher vom Regen meist weggewaschen, von den Bächen fortgespült und von den größeren Gewässern mit verlangsamter Strömung an geeigneter Stelle wieder zur Ablagerung gebracht werden. Dabei besteht dieser Absatz, wie aller Flut- oder Schwemmboden überhaupt, infolge der Aufbereitung durch das Wasser aus einheitlicherem Material als der Grundschuttboden, dem er entstammt.

Da, wo die Verwitterung ungestört wirken kann, wo die Materialien nicht vom fließenden Wasser weggeschwemmt werden bevor der

Prozeß zu Ende geführt ist, werden alle löslichen Bestandteile ausgelaugt und nur Tone und Quarzsand bleiben zurück. Wo das Land nur wenig geneigt ist oder die Verhältnisse sonst einer Abschwemmung ungünstig sind, da häufen sich diese Verwitterungsrückstände im Laufe der Zeit zu einer bald mehr, bald weniger mächtigen Decke über den Gesteinen, aus deren Zerstörung sie entstanden, an. Für solche oberflächliche Massen, welche nicht durch Wasser herbeigeführt, sondern an Ort und Stelle entstanden sind, hat Trautschold das Wort Eluvium vorgeschlagen. Ein solches Produkt ist, wie der Laterit, auch der als Terra rossa d. h. rote Erde bezeichnete Verwitterungsrückstand des reinen Kalkbodens.

Fig. 156. Die durch fließendes Wasser in Kalkstein ausgelaugte Frauenmauerhöhle bei Eisenerz in Steiermark. Partie in der sogenannten Kirche.

„Der Name Terra rossa“, sagt Melchior Neumayr im ersten Bande seiner Erdgeschichte, „stammt aus den karstigen Küstenländern des Adriatischen Meeres. Hier findet sich in sehr großer Verbreitung auf den reinen Kalken und streng an diese in ihrem Vorkommen gebunden eine rote Erde, welche namentlich in den eigentümlichen Karsttrichtern, den Dolinen, oft in großer Masse vorhanden ist. Sie besteht aus einem sehr stark eisenhaltigen Tone, dessen stete Verbindung mit den sehr reinen Karstkalken sie als das letzte Verwitterungsprodukt dieser letztern erscheinen ließ, welches als Rückstand nach der Wegführung allen kohlensauren Kalkes durch die atmosphärischen Wässer zurückbleibt. Es schien

Digitized by Google

wohl seltsam, daß diese oft schneeweißen, reinen Gesteine einen roten Ton einschließen sollten; ich habe mich jedoch durch Versuche überzeugt, daß bei der Auflösung größerer Stücke von ganz weißem Karstkalke in Essigsäure wirklich eine kleine Menge roten Tones zurückblieb, der gegen 20 Prozent Eisenoxyd enthielt.

Das Vorkommen solcher Terra rossa ist keine Eigentümlichkeit der Küstenländer der Adria; in großer Entwicklung findet man sie in Griechenland, überhaupt der Umgebung des Ägäischen Meeres, in den Klüften und Trichtern, den sogenannten Wetterlöchern, des schwäbisch-fränkischen Juraplateaus. Sie tritt fast überall da auf, wo reine Kalkschichten marinen Ursprungs eine Lagerung und Oberflächenbeschaffenheit zeigen, welche der starken Abschwemmung der Verwitterungsprodukte wenig günstig ist, oder wo geringe Regenmenge und Trockenheit des Klimas dieselben verhindert; ja selbst, wo dies nicht der Fall ist, z. B. in den Kalkalpen, findet man oft, daß an schwach mit Humus und Pflanzenwuchs bedeckten Gehängen die wenige Erde eine auffallende rötliche Färbung hat. Ebenso ist der rote Lehm, welcher in der Regel den Boden der Höhlen und Grotten des Kalkgebirges bedeckt, nichts anderes als in der Höhle zusammengeschwemmte Terra rossa.

Die Art der Bildung erscheint soweit ganz klar, allein es stellen sich doch noch zwei Fragen ein, deren Beantwortung zu einer befriedigenden Lösung notwendig ist: die eine ist die, warum nur reine Kalke Terra rossa liefern, die andere, wie denn in diese Kalke der Gehalt an rotem, sehr eisenhaltigem Tone gelangt. Die erste Frage ist rasch und einfach gelöst. In allen unreinen Kalken sind grau gefärbte tonige Substanzen, welche verhältnismäßig wenig Eisen enthalten, in größerer Menge vorhanden, sie liefern also einen anders gearteten Rückstand. Weit schwieriger ist die Frage, woher der Ton der reinen Kalke stammt. Das Auftreten der roten Erde ist an das Vorkommen von marinen Kalken gebunden;*) in den Verhältnissen der jetzigen Meere müssen wir daher die Erklärung für das Problem suchen, und hier finden wir einen analogen Fall. Ein großer Teil des Meeresbodens ist nämlich mit

*) Gegen diese Auffassung ist eingewendet worden, daß die Süßwasserkalke der griechischen Tertiärbildungen Terra rossa liefern; dieser anscheinend entscheidende Grund beweist aber nichts, da die erwähnten Süßwasserkalke sich größtenteils in Becken von marinen Rudistenkalken (der Kreidezeit) und aus dem Materiale dieser letzteren gebildet haben, so daß der rote Lehm hier auf dritter Lagerstätte ist. Der wahre Ursprung liegt auch hier im Rudistenkalke, dem hauptsächlichsten Erzeuger der Terra rossa in den Mittelmeerländern.

einem aus Foraminiferenschalen gebildeten weißen Kalksedimente, dem sogenannten Globigerinenschlamm bedeckt. Dieser tritt in der Regel in ziemlich bedeutenden, niemals aber in den größten Tiefen auf; in diesen findet sich vielmehr ein sehr feiner roter bis schokoladefarbener, eisen- und manganreicher Ton, während kalkige Partien fehlen, obschon kalkschalige Foraminiferen in den betreffenden Regionen an der Oberfläche schwimmend leben und deren Gehäuse nach dem Tode der Bewohner zu Boden sinken. Der Grund für diese Erscheinung liegt darin, daß das Meerwasser unter dem riesigen, in den größten Tiefen herrschenden Drucke alle Kalkteile auflöst. Der rote Tiefseeschlamm entsteht nach der herrschenden Ansicht wesentlich aus feinsten Bimsteinstückchen, welche auf dem Wasser schwimmen und endlich zu Boden sinken, sowie aus Meteorstaub. Diese letzteren Materialien kommen natürlich auch in andern seichteren Teilen des Ozeanes zur Ablagerung, sie mengen sich aber hier mit andern Sedimenten und sind ihrer außerordentlich geringen Menge wegen neben diesen nicht unmittelbar zu beobachten; wo sie mit Sand, Ton und ähnlichen Substanzen vermischt sind, gelingt ein derartiger Nachweis überhaupt nicht, wohl aber da, wo sich der rote Schlamm unter einer vorwiegenden Menge kalkiger Teile verbirgt. Für den Globigerinenschlamm hat Murray gezeigt, daß bei einer Auflösung in verdünnter Säure Spuren von rotem Tone zurückbleiben, und alle Gründe sprechen für die Annahme, daß es sich bei allen oder wenigstens bei den meisten marinen Ablagerungen von reinem Kalke ebenso verhalten werde. Vulkane haben zu allen Zeiten existiert, und vermutlich ist auch stets Meteorstaub gefallen, und so dürfen wir voraussetzen, daß auch in allen früheren geologischen Formationen sich ebensolches eisenhaltiges Silikat in geringer Menge niedergeschlagen habe wie heute, und daß diesem Vorgange die reinen Kalke ihren Gehalt an Terra rossa verdanken, welche dann bei der Auflösung der Kalke in kohlensäurehaltigem Wasser als Rückstand übrig bleibt und sich im Laufe der Zeit anhäuft.

Allerdings darf man nicht jeden roten Lehm, welcher oberflächlich austritt, als Terra rossa in diesem Sinne betrachten, sondern nur jene Vorkommnisse, welche in Gesellschaft und strenger Abhängigkeit von reinen Kalken auftreten. Ganz ähnliche Bildungen von rotem Tone können auch auf anderem Wege entstehen. So habe ich mich z. B. bei meinen Reisen im Orient, namentlich in der Halbinsel Chalkidike, überzeugt, daß manche an Eisenoxydul reiche kristallinische Schiefer, sogenannte Grünschiefer, bei ihrer Verwitterung einen reinen Ton bilden."

Die reinen marinen Kalke und Dolomite, die in großer Verbreitung

in den Ostalpen und in den sogenannten Karstgebieten der östlichen Landeinfassung der Adria, namentlich von Krain, Istrien und Dalmatien die Oberfläche des Landes bilden, sind sowohl durch ihre bedeutende Zerklüftung als auch durch ihre teilweise verhältnismäßig erhebliche Löslichkeit in kohlensäurehaltigem Wasser ausgezeichnet. Daher versinkt einerseits das Wasser der atmosphärischen Niederschläge in die Tiefe

Fig. 157. Beginnende Karrenbildung auf dem der unteren Kreide und zwar dem Urgon angehörenden Schrattenkalke des Säntis in der Ostschweiz. Diese blendend weißen Kalke bilden im äußeren Teile der alpinen Kalkzone eines der hervorragendsten Glieder des Gebirgsbaues, indem ihre mächtigen, meist steil aufgerichteten Massen in dem Landschaftsbilde durch stolze Gipfelbildung und wilde Zerissenheit der Gehänge ausgezeichnet sind. Sie sind aber überall, wo sie auftreten, in ganz besonders starker Weise zur Bildung jener wilden, von zahllosen parallelen Rinnen durchfurchten Steinwüsten, den Karren- und Schrattenfeldern geneigt.

und zirkuliert da größtenteils unterirdisch, anderseits spielt die chemische Zersetzung und Wegspülung nicht nur in oberflächlichen, sondern auch in tieferen Schichten eine bedeutende Rolle und übertrifft mancherorts sogar die Wirkung der mechanischen Zerstörung, welcher sonst die Gesteine hauptsächlich an der Oberfläche unterworfen sind.

Es hängt nun natürlich in hohem Maße von der Zerklüftung als auch von der Lagerung der Schichten und den äußeren Terrainver-

Digitized by Google

hältnissen ab, in welchem Grade diese Eigentümlichkeiten sich geltend machen. Überall wo die Kalke stark aufgerichtet sind und stark geneigte Gehänge besitzen, wo sie zur Bildung von Bergketten mit scharfer Kamm- und Gipfelbildung hinneigen, da ist am wenigsten Gelegenheit vorhanden, die Eigentümlichkeiten des Kalkterrains herauszubilden. Die starke Neigung befördert und erleichtert den oberflächlichen Ablauf des Wassers wie auch den Weitertransport des durch die Verwitterung entstandenen Gebirgsschuttes durch die Bäche und Flüsse und beeinträchtigt das Versickern und damit eine chemische Einwirkung durch die Schnelligkeit des Abflusses. Immerhin treten auch hier manche auffallende Erscheinungen auf, die dem Gebirgswanderer sehr wohl bekannt sind. Es ist die Bildung der sogenannten Karren oder Schratten.

Wie in allen Gesteinen überhaupt, so sind im scheinbar gleichmäßigsten Kalkstein einzelne Partien leichter, andere wieder schwerer löslich. So erhält jede Kalksteinfläche, über welche Wasser herabläuft oder auch nur der Nässe ausgesetzt ist, von selbst eine unebene Oberfläche, indem die härteren unlöslichen Partien als Erhebungen zwischen den durch leichtere Löslichkeit hervorgerufenen Vertiefungen stehen bleiben. Durch letztere läuft aber das Wasser als in den gegebenen Abflußrinnen leichter ab. So bilden sich überall, wo nicht nur Regen hinfällt, sondern wo besonders auch Schnee, welcher Kohlensäure in sich verdichtet, lange liegen bleibt und durch sein langsames Abschmelzen einen großen Teil des Jahres seine Unterlage naß erhält, Furchen, in denen das Schmelzwasser und der Regen abläuft, während die dazwischenliegenden Erhöhungen alsbald trocken werden. Je länger nun das Wasser durch die Rinnen fließt und durch seinen Kohlensäuregehalt Kalk auflöst, desto stärker prägen sich die begonnenen Unebenheiten aus. Es bilden sich dicht nebeneinander bergab verlaufende Rinnen, zwischen denen schmale, oft geradezu schneidend scharfe Kalkrippen verlaufen. Da nun die außerordentlich engen, von senkrechten Wänden eingefaßten Abzugskanäle 1 bis 2, ja, wie berichtet wird, in einzelnen Fällen sogar 6 bis 10 m in den Kalkfels eingeschnitten werden, kann man begreifen, daß solche Karren- oden Schrattenfelder, die sich namentlich in den Kreidekalken der Schweizer und Vorarlberger Alpen, die man deshalb als Schrattenkalke bezeichnet, entwickeln, zu den unangenehmsten Partien bei Gebirgswanderungen gehören und mit ihren scharfen Graten den Schuhsohlen der über sie Hinschreitenden nicht wenig zusetzen.

Andere Ergebnisse der Erosion finden wir in schwächer gebirgigem Terrain, da, wo das Wasser nicht so rasch an den steilen Gehängen

abfließt, wo es länger mit dem Gestein in Berührung bleibt und infolgedessen eine stärker auflösende Tätigkeit entfaltet, die sich in der Bildung von Felstrichtern und Kesseln, von Höhlen, unterirdischen Flußläufen und Wasserbecken äußert. Da das Wasser nicht nur den natürlichen Zerklüftungen, die den Kalkstein vielfach auszeichnen, sondern auch tektonischen Veränderungen im Zusammenhang der Gesteine folgt, so ist es begreiflich, daß diese Aushöhlungen im Gebirge sich verhältnismäßig oft an Verwerfungen knüpfen.

Fig. 158. Die Frauenmauerhöhle, der Ausgang.

Indem das unterirdisch abfließende Wasser die von ihm benützten Spalten durch Auslaugung des anstehenden Kalkes immer mehr erweitert, ist es kein Wunder, daß sich gerade im Kalkgebirge besonders häufig Höhlen bilden, die, wenn sie einmal durch Abtragung der sie umschließenden Gesteinsschichten an die Oberfläche des Gebirges gelangen und von außen zugänglich sind, mit Vorliebe nicht nur von Tieren, sondern auch von noch auf überaus niedriger Kulturstufe stehenden Menschen, die noch keine eigene Behausung aufzuführen vermögen, in denen sie Schutz gegen die Unbill der Witterung, hauptsächlich gegen die Kälte und Nässe, suchen könnten, als Zufluchtsstätten benutzt wurden und teilweise noch heute werden.

So finden wir in den Höhlen des Jurakalkes am Randen in der Schweiz wie in Franken, ganz besonders aber in denjenigen des Devonkalkes in Mähren die berühmten Fundstellen des einst hier durch viele Generationen hindurch hausenden vorgeschichtlichen Menschen, dessen

roh zugeschlagene Werkzeuge und Waffen aus Stein und später auch aus Bein mit den Knochen der von ihm erbeuteten Tiere in dem Schutt und Lehm der Höhlen eingebettet sind. Räumt man diesen Höhlenschutt mit genauer Feststellung und Untersuchung des Inhalts schichtenweise vorsichtig ab, so kann man eine einwandfreie Geschichte der betreffenden Höhlenbesiedelung in vorgeschichtlicher Zeit rekonstruieren, die uns erwünschte Rückblicke in längst vergangene Perioden, aus denen keinerlei Kunde mehr auf uns gekommen ist, tun lassen.

Durch Einsinken von solchen durch fließendes Wasser ausgelaugten Höhlen können trichterartige Gruben, die bei einiger Größe sogar zu talartigen Vertiefungen der darüberliegenden Oberfläche führen, entstehen. Diese bezeichnet man mit einem südslavischen Wort für Niederung oder Tal als Dolinen. Bisweilen sind sie nur wenige Meter breit und tief, können aber in den eigentlichen Karstländern Durchmesser von mehreren hundert Metern erlangen. So liegt im Karstgebiet von Istrien bei Danne eine ausnahmsweise große Doline von 600 m Durchmesser und 75 m Tiefe. Doch sind nach Cvijičs Messungen solche von 2 bis 100 m Durchmesser am häufigsten. Bald sind sie kraterförmig wie die Fanggruben des Ameisenlöwen, bald flachbodig, bald schluchtenartig mit überhängenden oder abgestürzten Wänden. Dabei ist der Boden, wenn ihn nicht Humus oder, in höheren Lagen, Firn bedeckt, oder ausnahmsweise einmal ein See in ihm steht, mit der bereits erwähnten Terra rossa, der roten Erde, bedeckt.

Aus Dolinenreihen können gelegentlich durch Abtragung der trennenden Schwellen längliche Becken entstehen. Sind Dolinen in ein altes Tal eingesenkt, dessen Bach seinen Lauf in die Tiefe verlegt hatte, so kann durch Verlegung seines alten Laufes durch die abstürzenden Gesteinsmassen das Wasser gezwungen werden, wieder zutage zu treten. So stehen die wenigen kleinen Seen der Karstländer auf dem Grunde von verstopften Dolinen. Wo Dolinen einmal gesellig vorkommen, wächst ihre Zahl oft ins gewaltige. So fand Cvijič auf 1 qkm deren 40 bis 50. Im ganzen zählen sie im südosteuropäischen, hauptsächlich aus Kalken und Dolomiten der Triasformation gebildeten Karstgebiet nach Hunderttausenden, was der Dolinenlandschaft einen einförmigen, an die zahlreichen Mondkrater erinnernden Anblick verleiht.

Gleiche Arten von Dolinen treten meist gesellig auf, als Folge der hier herrschenden geologischen Verhältnisse. Bald sind sie steilwandig, bald aber auch nur flachrandig. Schließen sie sich früh nach unten ab, so daß die gebildete rote Erde nicht hinweggeschwemmt werden kann,

dann bildet diese im Grunde der Vertiefungen den einzig fruchtbaren Boden, den die hier nur spärlich vorkommende Bevölkerung mit Fleiß bearbeitet und sorgfältig bewacht, damit nicht etwa ein noch ärmerer Nachbar sich des nachts eine Last der so kostbaren Erde holt, um sie in seinen Trichter zu tragen. Der große Reichtum an Eisen, welcher diesem roten Verwitterungsreste der Kalke eigentümlich ist, wird häufig wieder vom Wasser ausgelaugt und gibt dann Veranlassung zur Bildung von Eisensteinen, von Bohnerz und Rasenerz. Letzteres entsteht durch die Lebenstätigkeit von Eisen aus seinen Verbindungen niederschlagenden winzigen Pflänzchen. Stellenweise sind sie wie in Dalmatien so auch im Juragebirge in der Schweiz, so reichlich vorhanden, daß sie sogar heute noch bei den schwierigen Konkurrenzverhältnissen des Eisenmarktes mit Vorteil ausgebeutet und verhüttet werden können.

Neben den trichterförmigen Dolinen sind auch Schächte über die ganze Fläche großer Karrenfelder zerstreut, meist in flachen Einsenkungen in Reihen hinter einander geordnet. Oft sind die trennenden Zwischenwände so dünn, daß durch Ausnagung oder Herausfallen von Steinblöcken fenster- oder türartige Durchlöcherungen zwischen den einzelnen nahe beieinander gelegenen Schächten entstehen. Manche derselben sind kreisrund, andere dagegen unregelmäßig gestaltet, indem sie sich an Klüfte anschließen, von denen sie nur Erweiterungen darstellen. Bisweilen beträgt ihre Tiefe nur 1 m, oft aber ist sie eine sehr beträchtliche, ‚kirchturmtief', wie sich die Umwohner ausdrücken, wobei die Breite auch dann nicht über 1 m zu gehen pflegt. Der tiefste bis jetzt bekannte Karstschlund ist die Trebischgrotte bei Triest, die bis 300 m hinabreicht; doch dürfte es noch tiefere geben, die nur nicht erforscht sind.

Wie durch die Auslaugung von Kalkwasser durch unterirdisch ablaufendes Wasser, können auch durch die Auflösung von Gips- oder Salzlagern durch ebensolche Abflußwässer Höhlen entstehen und durch Einsturz ähnliche Trichtergruben oder Schächte bilden. Aber das sind nur seltene Ausnahmen, während sie in den Ländern, in welchen außerordentlich mächtige Massen eines sehr reinen Kalkes in Verbindung mit stark gestörtem Schichtenbau, der eine unterirdische Wasserzirkulation in hohem Maße begünstigt, vorkommen, so regelmäßig sind, daß man diese als Karstlandschaften von andern Kalkgebieten unterscheidet.

Solche Karstgebiete, deren Oberfläche durch zahlreiche Rinnen, Gruben und Schächte ausgezeichnet ist, sind große Teile von Krain, Istrien, dem kroatischen Küstenlande, Bosnien, Herzegowina, Montenegro, Albanien und Griechenland. Sie sind infolge des Wassermangels

an der Oberfläche äußerst steril und arm an Pflanzenwuchs, besonders an Wald. Das war aber nicht immer der Fall. Früher trugen die nun so unfruchtbaren Gebirge von Istrien und Dalmatien, deren Boden allerdings schon damals zahlreiche Klüfte und Höhlen besaß, durch welche das Wasser unterirdisch abfloß und über welche durch Einstürze solcher Höhlungen sich Dolinen gebildet hatten, stämmigen Hochwald, dessen Wurzeln so tief in die Erde hinabdrangen, bis sie zum Wasser gelangt waren. Aber seitdem die eigennützigen Venetianer diese Wälder gefällt und nicht

Fig. 159. Typisches Karstfeld von Veluric in Dalmatien (nach Photogramm von Dr. Heinrich Preiswerk). In weiter Ausdehnung sehen wir hier die schräg aufgerichteten Schichtköpfe des der oberen Kreide angehörenden Hippuritenkalkes nackt und von Humus entblößt zutage treten. Diese hellen, grobgebankten Kalke sind die Hauptfundstelle der als Rudisten zusammengefaßten Hippuriten, dickschaliger, dütenförmiger, mit ihrem spitzen Ende an einem fremden Körper angewachsener Muscheln, deren zweite flache Schale als Deckel diente. Daß sie Bewohner seichter Meere waren, beweist schon die außerordentliche Dicke der Schalen, wie sie nur Tieren eigentümlich sind, welche in bewegtem, ja selbst stark brandendem Wasser leben. Aber auch hier sind sie nur da in größerer Menge zu finden, wo wenig oder gar kein mechanisches Sediment niederfällt, sondern fast reine Kalke sich finden.

wieder bepflanzt, vielmehr Jahrhunderte hindurch dieselben aufs Schonungsloseste verwüstet haben, um aus ihnen die vielen Millionen von Pfählen zu schneiden, die sie in die Lagune einrammten, um auf ihnen ihre marmornen Paläste und Kirchen zu bauen, und die Milliarden von Brettern zu zimmern, die sie für die Herstellung ihrer Flotten benötigten, sind diese Küsten erst zu den von Vegetation entblößten, durch ihre Wasserarmut allem Leben überhaupt feindlichen Gebieten geworden, über deren kahle Flächen die furchtbaren Nordoststürme, die als Bora berüchtigt genug sind, mit elementarer Gewalt dahinbrausen. Was dieses einst die Adria und das östliche Mittelmeer mit ihren Galeeren

Digitized by Google

Durch Winderosion entstandene Wüstenberge el Quatrani bei Fayum in Ägypten.

Über eocänen, miocänen und pliocänen Sedimentschichten liegt eine darüber ergossene Basaltdecke, welche durch ihre große Härte und Widerstandskraft gegen Verwitterung den Untergrund vor weitgehender Zerstörung bewahrt hat.

Digitized by Google

beherrschende gewinnsüchtige Krämervolk gesündigt, kann die Gegenwart nur teilweise durch die größte Ausdauer und mit unermeßlichen finanziellen Opfern wieder gut machen. Der von Humus und roter Erde entblößte Kalkboden vermag jetzt keine Wälder mehr zu tragen. Er ist und bleibt unfruchtbar, und alles Wasser, das früher der Wald noch an der Oberfläche zurückhielt, sinkt jetzt unbarmherzig in die Tiefe und strömt für das Leben nutzlos unterirdisch zum Meere ab, seine kalkauflösende Arbeit unentwegt, ja mit um so größerer Energie fortsetzend. Allerdings tut ihm daran die durch die Entwaldung bedingte Abnahme der Niederschläge überhaupt großen Abbruch.

Im Gegensatz zu diesen durch menschliche Torheit und Selbstsucht hervorgerufenen oder doch bedeutend verschlimmerten sterilen Karstgebieten, die nur eine ganz dünne, höchst armselige Bevölkerung zu ernähren vermögen, stehen die überaus fruchtbaren Lößlandschaften Chinas, welche die dichteste und höchst regsame Bevölkerung der Erde tragen. Sie sind das Produkt der Verwitterung in der Wüste und der Staubstürme, die dieses nach den von Wasser durchflossenen Niederungen tragen und dort als Löß absetzen.

In der Wüste, wo das Wasser fast ganz fehlt, ist, wie wir gesehen haben, der weitgehende und oft schroffe Temperaturwechsel die Hauptursache der Verwitterung. Mit ihr im Bunde arbeitet die Winderosion, welche die abwechselnd durch Sonnenbrand ausgedehnten und dann durch Nachtfröste wieder zusammengezogenen und so in Schutt und Sand aufgelösten Gesteine im heftigen Sturmwind gegen andere schleudert und sie dadurch gegenseitig zerreibt. Der Wind ist an und für sich nicht imstande, auf feste Gesteine unmittelbar eine irgendwie nennenswerte zerstörende Wirkung auszuüben. Aber wie das fließende Wasser nicht nur chemisch, sondern besonders auch mechanisch durch die in ihm suspendierten Stoffe eine erodierende Wirkung auf seine Unterlage, über die es dahinfließt, ausübt, so erhält auch der Wind erst dadurch eine zerstörende, abnagende Kraft, daß er Sandkörner mit sich führt. Und die überaus große Gewalt, mit der sie von ihm gegen Steine und Felswände geworfen werden, wirkt gleich einem Sandgebläse. Man hat im Westen Nordamerikas beobachtet, daß der mit Sand beladene Wind Glasfenster mattschleift. In ähnlicher Weise erzeugen die mit großer Wucht durch die Wüste dahinbrausenden Stürme, die große Mengen eines feinen, überaus harten Quarzsandes mit sich schleppen, eine Glättung der Gesteine, die bald wie poliert erscheinen. Daher sprechen die Wüstenreisenden geradezu von einem Wüstenlack, der dort gleichsam alle Gesteine

bedeckt und ihnen diese ganz merkwürdige Politur verleiht. Aber nur die härtesten Materialien widerstehen einigermaßen der Winderosion; weniger harte werden wellig angefressen und die weicheren Stellen an ihnen immer mehr herausgearbeitet, bis schließlich das Ganze in kleinere Stücke und zuletzt in Grus zerfällt. Die stehengebliebenen, der Winderosion noch nicht zum Opfer gefallenen Felspartien erscheinen dann als sogenannte Zeugen, als scheinbar versteinerte Menschen, Felspfeiler, Mauern, Ruinen und andere phantastische Gebilde der Wüste, über deren Entstehung sich die abergläubischen Beduinen an ihren stillen Lagerfeuern nach der die Sinne benebelnden Hitze des Tages die merkwürdigsten Geschichten erzählen.

Fig. 160. Das Matterhorn (4505 m) an der Südgrenze des Kantons Wallis, an dessen dreikantiger Gestaltung neben der Verwitterung teilweise auch die Winderosion mitgearbeitet hat.

Man braucht aber nicht in die Wüsten zu gehen, um die Winderosion zu studieren. Auch bei uns kommt sie oft genug vor. Im Gletscherschutt, den das skandinavische Inlandeis bei seinem Rückzuge überall in der Norddeutschen Tiefebene in gegen 100 und mehr m Mächtigkeit ausgestreut hat, liegen viele harte Kiesel von eigentümlich kantiger, keilförmiger Gestalt. Man hat es jetzt vollkommen aufgegeben, diese sogenannten „Dreikanter" durch Gletscherwasserspülung in eingeklemmter Lage entstehen zu lassen. Sie haben vielmehr ihre merkwürdige Form durch windbewegten Sand empfangen, der sie je nach ihrer Lage bald von der einen, bald von der anderen Seite her angeschliffen und ihnen zugleich die für die Wirkung der Winderosion charakteristische Politur verliehen hat. Dabei kam der ursprünglich elliptische oder ovale Umriß vieler Rollsteine in Betracht, der dem Winde und dem von ihm bewegten Sande bestimmte Wege wies. Man unterscheidet an ihnen leicht die angeschliffenen Seiten, die frei lagen und dem Wehen des Windes aus-

Digitized by Google

gesetzt waren, von denen, die unberührt blieben, weil sie im Boden begraben lagen. Oft erkennt man auch eine weniger abgeschliffene Seite, die im Windschutze eines Felsens oder Hügels lag.

Aber nicht nur so kleine Produkte der Winderosion besitzen wir in Europa. Wir haben auch große Dreikanter, die ganze Bergkegel darstellen. Ein solcher ist beispielsweise die imposante Pyramide des Matterhorns, die ganz wesentlich der Winderosion ihre merkwürdige dreikantige Gestalt verdankt, indem von ihr besonders die Ecken abgeschliffen wurden.

Da, wo der vom Winde getragene Staub sich senkrecht gegen eine ihm entgegenragende Wand stürzt, schafft die Winderosion eigentümliche Defekte im Stein, die von netzartigen widerstandsfähigeren Wänden umgeben sind. Solche vom Sandgebläse ausgeblasene ‚Wespennester‘ sehen wir an sehr vielen Orten bei dem in unseren Gegenden so verbreiteten Buntsandstein, in den der Wind vielfach wabenartige Löcher hineinfrißt. Dieser Wirkung ist der Sandstein besonders in freier, dominierender Lage, wie wir sie auf Burgen und Schlössern finden, ausgesetzt. So finden wir ganz wunderbare Beispiele dieser durch Winderosion hervorgerufenen wabenartigen Struktur des Buntsandsteins an den einst durch Steinhauerarbeit geglätteten Mauerüberresten der mächtigen, auf stolzer Höhe erbauten Burgruine von Rötteln im Wiesental bei Basel, die wohl schon jedem Besucher derselben aufgefallen sein werden. Außer in Sandsteinen kann die Winderosion mit ihrem Sandgebläse auch in vulkanischen Tuffen, in denen zwischen feiner Asche kleine und größere, besseren Widerstand leistende Bröckchen verspratzten Magmas eingebettet sind, solche ‚Wespennester‘ erzeugen, wie das folgende Photogramm in höchst instruktiver Weise zeigt.

Das vollständigste Bild dessen, was die Erosion ohne Mithilfe von Wasser hervorbringt, zeigen uns die Wüsten. Ihr Bildung wird in erster Linie durch meteorologische Ursachen bedingt, indem sie nur in solchen Gegenden auftreten, in welchen trockene Winde so vorherrschen, daß nur ganz verschwindend wenig Niederschläge fallen. So verdankt die Sahara ihren Wüstencharakter der Herrschaft nördlicher und nordöstlicher, vom Mittelmeer oder aus dem trockenen Vorderasien kommender Winde, welche über dem stark von der Sonne erwärmten Lande keine Wasserdämpfe mehr zu verdichten vermögen. Das ausgedehnte Wüstengebiet Zentralasiens, die Gobi, ist von hohen Gebirgswällen umgeben, an denen sich alle Feuchtigkeit niederschlägt, so daß die Winde ganz trocken in die Niederungen des Innern gelangen. Und ähnlich ist es bei allen andern Wüsten.

Um eine große Wüste näher kennen zu lernen, wollen wir der Sahara einen kurzen Besuch abstatten. Sie ist durchaus nicht das ebene Sandmeer, wie man sie sich gewöhnlich vorstellt, sondern ein Gebiet von großer landschaftlicher Mannigfaltigkeit. Mächtige Gebirge mit Gipfeln bis zu 2500 m Höhe,

Fig. 161. Die Wirkung der Winderosion am Berge Epomeo auf Ischia. In den mit Lava durchsetzten Tuffen ist diese, weil viel härter, stehen geblieben und so mit der Zeit herausgeschält worden. (Nach Photogramm von Dr. K. Leuchs.)

steinige Hochebenen, Becken mit lehmigem Boden, salzigen Seen und Sümpfen wechseln miteinander ab. Dazwischen schieben sich fruchtbare Oasengebiete ein, wo das Grundwasser zutage tritt oder doch wenigstens für den Menschen zur Löschung seines eigenen Durstes und desjenigen seiner Haustiere wie auch zur Bewässerung seiner spärlichen Kulturen erreichbar ist.

Digitized by Google

Fast die ganze Sahara ist aus horizontal gelagerten Schichtgesteinen, marinen Kalken, Mergeln und Sandsteinen, hauptsächlich der Devon- und Kreideformation angehörend, aufgebaut, zu welchen sich nur in wenigen Gegenden, namentlich in den Hochgebirgen von Ahaggar und Tibesti, Eruptivgesteine hinzugesellen. In ihr baut sich eine Ebene terrassenförmig über die andere, deren Schichtköpfe Steilabfälle bilden. Nur der Flugsand, der weiten Strecken, von denen er hinweggeweht wurde, ganz fehlt, hat sich in anderen in so gewaltiger Menge aufgehäuft, daß er den Terrassenbau des Grundgebirges verhüllt. Unter der Hammâda versteht der Beduine die mit Gesteinstrümmern gröberer Art bedeckte Steinwüste, über welche man tagelang wandern kann, bis man endlich in der Ferne einen steilen Absturz gewahrt, der sich geradlinig hinzieht. Hat man ihn erstiegen, so geht der Weg auf der neuen Terrasse in derselben einförmigen Ebene weiter.

Die einzelnen Terrassen erheben sich nicht unvermittelt über einander, sondern jede neue Stufe wird schon auf weite Entfernung hin durch das Auftreten von sogenannten Inselbergen angekündigt, die nur übrig gebliebene Stücke einer einst weiter ausgedehnten Terrasse bilden, welche infolge größerer Widerstandskraft der Winderosion noch nicht erlagen.

Die Gebirge der Sahara stellen der Hauptsache nach die Erscheinungen der Hammâda in mächtig zusammengedrängtem und gesteigertem Maßstabe dar. Gewaltig türmen sich da die Terrassen über einander und bilden Hochregionen, in denen teilweise reichlicher Regen fällt; ja im Winter sind dieselben stellenweise drei Monate hindurch mit Schnee bedeckt. In den durch Wassererosion tief eingeschnittenen Tälern brausen dann nach heftigen Regengüssen oder bei der Schneeschmelze wilde Sturzbäche zu Tal, Geröll und Felsblöcke mit sich reißend. Aber sie versiegen und versinken in den Boden, sobald sie in die flacheren Gebiete hinausgelangen, unter denen sie sich auf weite Strecken als Grundwasser sammeln. In den Tälern dieser Gebirge mit ihren sporadischen Bächen und teilweise sogar kleinen Seen gedeiht eine reiche Vegetation, während die Gehänge der Berge und ihre trockenen Hochflächen trostlose Einöden darstellen.

Einen andern Haupttypus der Wüstenlandschaft, der mit der Hammâda durch mannigfaltige Übergänge verbunden ist, bildet die Sand- und Dünenwüste, die Region des Areg, die trostloseste aller Ausbildungsarten, wenigstens da, wo sie in voller Entwicklung auftritt. Der verstorbene Münchner Geologe Zittel beschreibt sie folgendermaßen: „Ein reiner, meist lichtgelber Quarzsand bedeckt als ein welliger Teppich den Boden, aus dem in weiteren oder engeren Abständen Gruppen un-

regelmäßig geordneter, oder häufig paralleler Ketten an einander gereihter Hügel hervortreten. Soweit das Auge schaut, sieht es nichts als Sand, ein einziges unabsehbares fahles Sandmeer, aus dem die gewaltigen Dünen wie riesige versteinerte Wellen hervorragen. Da, wo die Dünen in wirren Haufen beisammenstehn, ist der Reisende zuweilen wie in einem tiefen Kessel von steilen Böschungen umschlossen, und es bedarf der vollen Aufmerksamkeit des kundigen Führers, um den Ausweg aus diesem Labyrinthe zu finden. In der Lybischen Wüste, dem großartigsten Sandgebiete der ganzen Sahara, erscheinen die Dünen meist zu

Fig. 162. Die sogenannten Inselberge der Sahara, welche deutlich die horizontal gelagerten Sedimentschichten erkennen lassen.

förmlichen Gebirgsketten angeordnet, schon von der Ferne kenntlich an der rein gelben Färbung und dem vielköpfigen Profile. Zwischen denselben erstrecken sich ebene Täler von verschiedener Breite, bald mit Sand bedeckt, bald den harten, unverhüllten Felsboden zur Schau tragend.

In Abständen von 1 bis 2 km erheben sich die rundlichen Köpfe, in der Profilansicht mit einem sanft und einem steil ansteigenden Gehänge. Im Querschnitt steigt die dem Winde zugekehrte Seite langsam und allmählich an, ihre Oberfläche ist am Fuße, namentlich nach einem Sturme, wellig bewegt, gegen den Gipfel wird die Neigung allmählich steiler, oben ist der Grat haarscharf abgeschnitten. Von da fällt die dem Winde abgekehrte Seite mit so steilem Winkel ab, daß man Stunden, ja halbe Tage lang längs der Dünenkette zu marschieren genötigt ist, um eine Einsenkung aufzusuchen, welche der Karawane das Überschreiten ermöglicht.

Digitized by Google

Am schauerlichsten erscheint die Dünenwüste bei heftigem Sturme; dann ist die Luft mit feinem Sande erfüllt, durch förmliche schwarze Sandwolken verdunkelt. Die Dünen rauchen, ihr Umriß verschwimmt mit der fahlen Luft, alles scheint in Bewegung zu sein. Mit entsetzlicher Gewalt werfen die Windstöße scharfe Sandkörner gegen alle erhabenen Gegenstände, und der Reisende legt sich mit brennendem Gesichte und Händen, vom Staub geblendet, zu Boden und schützt sich durch Decken gegen die Unbill des Samum. Erstaunliche Massen von Sand werden während eines Sturmes von der Stelle bewegt. Auch unterliegt es keinem Zweifel, daß die Dünen ihre Gestalt dem Winde verdanken. Man kann sich leicht überzeugen, wie jede Unebenheit des Bodens, ein Felsblock, ja ein moderndes Kamelgerippe, ein einzelner Busch, Veranlassung zur Aufwerfung eines Sandhügels bieten. Und hat sich ein solcher Neuling einmal gebildet, so treibt der Wind stets frisches Material herbei. Die Sandkörnchen werden an der Windseite angetrieben, in die Höhe geschoben und zuletzt über den Grat hinabgerollt, so den Querschnitt der beginnenden Düne verbreiternd. Nur unter besonders günstigen Bedingungen dürften jedoch noch jetzt neue größere Dünenketten entstehen, denn die bereits vorhandenen bilden natürliche Sammler des treibenden Flußsandes und vergrößern beständig ihren Umfang. Mag sich die äußere Gestalt der Dünen im Verlaufe der Zeit etwas verändern, mögen sich kleinere von ihrer Stelle bewegen, durchgreifende Veränderungen scheinen kaum noch vorzukommen. Alle größeren, im Reisegebiete der Sahara gelegenen Dünengruppen tragen seit Menschengedenken Namen und werden vom Araber nach Verlauf von Jahren wieder erkannt.

Im großen Sandmeere der Libyschen Wüste hört das vegetabilische und animalische Leben fast völlig auf. Man kann tagelang wandern, ohne ein dürftiges Wüstengewächs zu erblicken, ohne den Ruf eines Vogels oder das Summen eines Insekts zu vernehmen. Im allgemeinen aber pflegt die Sandwüste keineswegs die unfruchtbarste Wüstenform zu sein. In der westlichen Sahara, wo zwei- bis dreimal im Jahre ausgiebige Regenschauer den Boden befeuchten, sprießt nach solchen Tagen, wie durch Zauberspende hervorgelockt eine grüne, mit bunten Blüten geschmückte Vegetation, die jedoch schon nach wenigen Tagen unter den sengenden Sonnenstrahlen erstirbt. Häufig sammelt sich auch Feuchtigkeit in geringer Tiefe und ermöglicht die Existenz einer bleibenden Vegetation, so daß die besten Weideplätze in der nordwestlichen Sahara sich gerade im Areggebiete befinden."

Diese heute so überaus wasserarme Sahara hat einst ein feuchteres

Klima gehabt, unter welchem fließendes Wasser in ausgiebiger Weise an der Erosion und Oberflächengestaltung mitarbeitete. Das beweisen vor allem die zahlreichen Trockentäler, die Wadi, welche teilweise

Fig. 163. Sanddünen in der Lybischen Wüste. Sie erstrecken sich in der Richtung des vorherrschenden Windes, erreichen hier eine durchschnittliche Höhe von 20—30 m und gehen höchstens bis zu 100 m, während sie in der weiter westlich gelegenen eigentlichen Sahara bis zu einer Höhe von 200 m bei einer Längenausdehnung von 70—80 km anwachsen sollen. Am französischen Mittelmeergestade erreichen die Küstendünen höchstens 7 m Höhe, während sich in den Landes am Atlantischen Ozean solche von 90 m Höhe finden, und die Dünen der Kurischen Nehrung zwischen Königsberg und Memel bis zu 70 m Höhe ansteigen. Den ersten Anstoß zu solcher Dünenbildung geben Hindernisse wie Felsen oder Sträucher, die sich der Luftbewegung entgegenstellen. Daran wird der Wind nach aufwärts abgelenkt und teilweise comprimiert, wodurch er entsprechend der Abnahme seiner lebendigen Kraft gezwungen wird einen Teil des mitgeführten Sandes an der windgeschützten sogenannten Leeseite fallen zu lassen.

auf sehr weite Strecken verfolgt werden können. So läßt sich der sagenberühmte Wadi Irharhar vom Ahaggargebirge 490 km weit bis zum Seengebiete südlich von Tunis verfolgen. In ihm sammeln sich alle Wässer einer weiten Bergregion, aber schon bald nach dem Aus-

Digitized by Google

Fig. 164. Steilabfall der Lybischen Wüste am Westrande des Niltals. Wir befinden uns hier in der Nordwestecke der altägyptischen Residenzstadt, des von Homer als hunderttorig gepriesenen Theben. Seinen heutigen Namen Dêr el-Bahari d. h. Kloster des Nordens verdankt der Ort einem aus Nilziegeln erbauten, jetzt völlig verfallenen Kloster, das auf dem Sande errichtet war, den die Westwinde über den Steilabfall von der Wüste herübergeweht hatten. Dieser Sand hatte auch den hier sichtbaren, von Naville in den Jahren 1894/96 ausgegrabenen Terrassentempel verschüttet, den die Königin Makerê-Hatschepsowet, die willensstarke Schwester und Gemahlin des energielosen Thutmose II ums Jahre 1520 vor Christus erbauen ließ. Von diesem in zwei Terrassen angelegten und zum Teil aus den Felsen gearbeiteten, bzw. in den Berg hineingebauten Heiligtume führte eine in ihren Resten bis weit ins Tal hinab verfolgbare Sphinxallee zu den kargen Trümmern eines Tors, vor dem die Fundamente zweier gemauerter Behälter für die Perseabäume (Mimusops Schimperi) nebst den Baumstümpfen erhalten sind. Die nördliche Halle dieses Tempels ist dadurch berühmt, daß ihre Wandmalereien die große Flottenexpedition darstellen, welche diese Königin nach dem Lande Punt, dem Weihrauchlande an der Küste des Roten Meeres, aussandte und welche mit den Erzeugnissen dieses Landes beladen heimkehrte.

tritte verliert sich die Feuchtigkeit im Boden. Nur nach sehr heftigen, andauernden Regen, die allerdings hier äußerst selten sind, erhält sie

Digitized by Google

sich etwas länger an der Oberfläche. Im Boden wird sie aber beim Brunnengraben schon in geringer Tiefe gefunden. In früherer Zeit muß das ganze Wadi von einem bedeutenden Strome durchflossen worden sein, der das große, stellenweise sehr breite Flußbett aushöhlte.

Ein weiterer Beweis, daß die Sahara mehr Niederschläge und sogar reguläre Ströme besessen haben muß, bilden die Krokodile in den Sümpfen des Ahaggargebietes, die aus einer Zeit größerer Wasserverbreitung sich an einigen wenigen Punkten noch am Leben erhielten. Der kühne Reisende De Bary hat ihre oft angezweifelte Existenz mit Sicherheit bestätigt. Dasselbe beweisen Tropfsteinhöhlen und Ablagerungen von jüngerem Kalksinter, die sich stellenweise finden. In einer der letzteren bei Kasr Dachel in der Libyschen Wüste fand Zittel das mit Kalksinter überzogene Blatt einer immergrünen Eiche, eines Baumes, der heute der ganzen Wüstenregion absolut fremd ist, aber in weiter Verbreitung in den Waldgebieten des Mittelmeeres vorkommt. Endlich sprechen in gleichem Sinne die im westlichen Teile der Sahara und im Atlas gefundenen uralten, an Felswänden ganz roh eingehauenen Umrißzeichnungen, in der Art wie sie heute noch die südafrikanischen Buschmänner verfertigen, welche Wildrind, Elefant, Giraffe und Strauß darstellen. Der vorgeschichtliche Mensch, der diese Tiere hier gejagt hat und zu Zauberzwecken, um sie leichter erbeuten zu können, Darstellungen von ihnen anfertigte, muß also noch Zeuge dieser besseren Zeit gewesen sein, die jedenfalls mit der letzten Eiszeit in Zusammenhang steht. Da nun diese, wie wir an anderer Stelle eingehend ausgeführt haben, vor etwa 20 Tausend Jahren zu Ende ging, müssen die Spuren vom einstigen Vorhandensein des Menschen in dieser jetzt allem Leben so überaus feindlichen Gegend mindestens dieses Alter haben, können aber auch viel älter sein.

Ähnliche Verhältnisse wie in der Sahara finden wir im zentralasiatischen Tarimbecken, wo der bekannte schwedische Forschungsreisende Sven Hedin bei seiner letzten großen Reise in vollkommen dürrem Lande, in der mittelsten Gobi viele Tagemärsche von der nächsten geringen Wasseransammlung entfernt, die Überreste einer ganzen, vom Sande verschütteten Stadt fand, die nach den zahlreichen gemachten Funden und einigen diesbezüglichen chinesischen Aufzeichnungen zu schließen, Lóulan hieß und vor etwa anderthalbtausend Jahren den infolge der Klimaverschlechterung immer näher herankommenden Sanddünen erlag.

Wie die Sandstürme töten, so können sie aber auch Leben erwecken, da, wo sie gelegentlich den Sand der Wüste in angrenzende bewässe-

rungsfähige Gebiete verwehen. So haben sie überall um die allertrockensten Gebiete, die Wüsten, in weniger trockenen die Steppen erzeugt, indem der lockere, aus feinen, abgerundeten Quarz- und Kalkkörnchen nebst Ton bestehende Staub von in bezug auf Wasserbedürfnis genügsamen Gräsern und Zwiebelgewächsen, welch letztere in ihren verkürzten Sproßachsen mit die Wasserverdunstung verhinderndem Schleime erfüllte Wasserspeicher besitzen, besiedelt wurde. Diese Pflanzen beschränken sich auf eine kurze, in die Regenzeit fallende Vegetationsperiode und halten zwischen ihren Assimilationsorganen, den Stengeln und Blättern, den aus den benachbarten Wüsten zusammengewehten kalkreichen Staub fest. So entsteht der Löß, eine Bezeichnung, die aus dem oberrheinischen Sprachschatz stammt, und lose, locker bedeutet.

Dieser vom Winde aus Wüstengebieten zusammengewehte Löß ist dadurch, daß er ungemein viel Wasser aufzunehmen und festzuhalten vermag, überall da, wo ihm Wasser aus der Atmosphäre zuströmt oder durch Bewässerung zugeführt werden kann, ein ungemein fruchtbarer Ackerboden, der durch ein System feiner Röhrchen mit verkalkten Wänden, den ausgewitterten Wurzeln der Gräser, den Regen in die Tiefe leitet. Durch das Sickerwasser, welches den Kalk löst und in tieferen Lagen in Form nicht nur von Kalkauskleidungen der Kanälchen, in denen es fließt, den ehemaligen Wurzelgängen, sondern auch in knollenförmigen Kalkkonkretionen von oft merkwürdigen Formen, die an kleine Menschenfiguren erinnern, so daß ihnen die stets rege Volksphantasie den Namen Lößmännchen gegeben hat, ausscheidet, wird der Löß besonders in regenreichen Gebieten allmählich entkalkt, verliert dadurch seine angenehme Eigenschaft selbst stark durchfeuchtet, niemals schmierig und klebrig zu sein, sich auch nie an das Schuhwerk anzuheften, sondern wird anhängend und schmierend. Solchen entkalkten Löß bezeichnet man als Lehm.

In Deutschland ist der Löß, der in den oberflächlichsten Schichten stets mehr oder weniger in Lehm übergegangen ist, besonders im oberrheinischen Gebiet und am Südrande des norddeutschen Tieflandes, ebenso in Oberösterreich, in Mähren und an zahlreichen anderen Orten Mitteleuropas bis zu 20 m Mächtigkeit verbreitet und steigt als Überzug von Hügeln bis zu 300 m Höhe. Er kommt genau in derselben Weise auch am Südrande der Alpen vor und ist im osteuropäischen Tieflande, wo er sich vielfach dem Humus beigemengt findet, weitaus am verbreitesten. So haben in Rußland 25 Gouvernements, mit einer Bodenfläche von rund 2 Millionen qkm, d. h. mehr als 1/3 des Areals

mit weit über 1/3 der Bevölkerung, Lößboden, welcher der beste Ackerboden zur Erzeugung von Weizen ist.

Wie man in der Umgebung von Basel und an zahlreichen anderen Orten mit aller Sicherheit feststellen kann, liegt er stets auf der sogenannten Hochterrasse abgelagert, d. h. auf den von den Schmelzwässern der vorletzten Eiszeit, der größten von allen vier bis fünf Eiszeiten, die sich in der Diluvialzeit ereigneten, talabwärts verfrachteten Flußgeschieben,

Fig. 165. Vegetationsstreifen am Fluß in der Wüste unterhalb Arequipa in Peru. Nur da, wohin das Wasser gelangt, kann sich in diesem überaus regenarmen Lande Pflanzenwuchs halten. (Nach Photogramm von Dr. H. Hoek.)

welche sich meist nur noch an den Flanken der Täler erhalten haben. Nie findet sich Löß in primärer Lagerstätte auf der Niederterrasse, d. h. auf den Talausfüllungen, welche die Flußgeschiebe der letzten, im Vergleich zu der vorletzten viel geringeren Vereisung erzeugt haben. Das beweist mit aller Sicherheit, daß Wüsten- beziehungsweise Steppenbildung bei uns in Mitteleuropa nicht in nachweisbarer Ausdehnung nach der letzten Eiszeit, wohl aber nach der vorletzten Eiszeit und zwar von ziemlich langer Dauer eintrat. Da haben, wie man heute noch genau an der Ablagerung des Lößes nachweisen kann, die trockenen, noch nicht

Digitized by Google

vom warmen Golfstrom, der damals vermutlich durch eine Landbarriere mehr nach Westen abgelenkt wurde, feuchten Nordwestwinde, die ja hier heute noch vorzugsweise wehen, von den sich durch Mitteleuropa hindurchziehenden Wüsten den kalkreichen Staub als Löß an den im Windschutze liegenden Abhängen zusammengeweht. Und auf diesem Löß hat sich dann eine Steppe entwickelt, deren Gräser sich unter den Frühjahrsregen, nach einem trockenen, windreichen Winter, in dem hauptsächlich der Wüstenstaub abgelagert wurde, zu neuem Leben entfalteten und nicht nur zahlreichen Landschnecken, deren Schalen wir in Menge im Löß finden, sondern auch größeren Steppentieren, wie vor allem Saïgaantilopen, Zieseln und Steppenmäusen, deren Knochen wir ebenfalls gelegentlich darin entdecken, die Daseinsmöglichkeit bot. Dieser Wüstenstaub der letzten Zwischeneiszeit bestand wohl vornehmlich aus dem verwitterten Glazialschutte der vorletzten Eiszeit. Er wurde dann in der Folge stellenweise vom Wasser weggeschwemmt und an sekundärer Lagerstätte wieder fallen gelassen. Aber das sind nur kleine Ausnahmen. Bei seiner Bildung hat er mit Wassertransport durchaus nichts zu tun gehabt, sondern wurde als sogenannte äolische Bildung vom Winde von wüsten Hochflächen über Steppen zusammengetragen, woher seine deckenförmige, sich dem Boden anschmiegende, lockere Lagerung kommt.

Viel mächtiger als bei uns sind diese Staubzusammenwehungen am Ostfuße der Anden, wo sie in 80 m Mächtigkeit den Untergrund der Pampas von Argentinien bilden. Aber noch sehr viel bedeutender ist ihr Vorkommen in Nordchina, wo sich der Löß noch heute vor unseren Augen bildet, indem er durch die ebenfalls aus Nordwesten kommenden Staubstürme aus der Wüste Gobi in den Niederungen der wegen ihres Weizenbaues berühmten chinesischen Provinz Schansi, der Kornkammer Chinas, zusammengeweht wird. Der Hoangho oder gelbe Fluß durchzieht die ganze Landschaft, welche einst Steppe war, bevor sie von den fleißigen Chinesen durch reichliche Bewässerung zum überaus fruchtbaren Ackerboden umgewandelt wurde. Indem dieser Fluß durch den gelben Löß fließt wird er zum gelben Fluß und färbt mit dem mitgeschleppten Löß weithin das Meer, in das er fließt, gelb, weshalb es den Namen gelbes Meer erhalten hat. Den Hoangho begleitet im Süden eine 150 m hohe, steile, in zwei Absätzen aufsteigende Mauer von Löß, die durch das Wasser unterhöhlt ist. Das Hwaital ist von 200 m hohen Lößwänden eingefaßt, aber die Talsohle hat noch lange nicht den gesamten hier abgelagerten Löß durchschnitten, der hier wie an andern Orten an den tieferen Randgebieten Innerasiens im ganzen 500 bis 600 m

Mächtigkeit erreicht und hauptsächlich alle Mulden zwischen den Faltenzügen ausfüllt, indem er nivellierend alle Unebenheiten des Bodens ausgleicht. Welch ungeheure Zeit ist erforderlich gewesen, um solche Schichten von Löß anzulagern, der ja nur während der hauptsächlich zur Winterszeit wehenden Staubstürme zusammengeweht wird!

Außer den wenigen größeren Flüßen, die in Nordchina ihre Täler in die Lößmassen eingeschnitten haben, fehlt es in diesem weiten Gebiete durchaus an einer oberflächlichen Zirkulation des Wassers, weil dieses durch die feinen Haarröhrchen des Bodens sofort in die Tiefe geleitet und dort wie von einem Schwamme zurückgehalten wird. Trotzdem ist das ganze Terrain von zahllosen Schluchten und Hohlwegen durchzogen, in denen die Handkarren der Chinesen zwischen den riesigen, völlig öden und vegetationslosen Wänden dahinfahren, während oben an der ebenen Oberfläche der Lößlandschaft ein ununterbrochener Teppich von grünen Feldern sich ausbreitet. Diese allmählich zu Schluchten gewordenen Hohlwege hat nicht das oberirdisch fließende Wasser, das ja selten und bedeutungslos ist, geschaffen, wohl aber haben es die Füße der hier lebenden Menschen und Tiere und die Karren, die sie hindurchzogen, mit der Zeit gegraben, wobei das unterirdisch fließende Grundwasser nachgeholfen hat, indem es ein Absinken und Nachstürzen des Bodens erleichterte. Es ist ganz derselbe Vorgang, den wir auch in unsern einheimischen Lößgegenden, z. B. im Sundgau, d. h. Südgau, im Elsaß beobachten, wo alle Feldwege durch den Löß von selbst infolge des einfachen Hindurchgehens der Menschen und Tiere und des damit verbundenen Verschleppens der lehmig und so anhängend gewordenen Lößmasse zu tief eingegrabenen Hohlwegen wurden und sich immer noch vertiefen, bis sie auf eine härtere Unterlage treffen, die von den Füßen

Fig. 166. Lößlandschaft am Oberlaufe des Hoangho oder gelben Flußes in China. (Nach von Richthofen.)

der Passanten und den Rädern der Fuhrwerke nicht mehr so stark mitgenommen wird.

Allerdings erleichtert die starke Zerklüftung der Lößmassen ganz wesentlich die Schluchtenbildung bei der so großen Mächtigkeit derselben, wie wir sie in China antreffen. Ihre große Menge und die an sie anstoßenden senkrechten Abstürze geben der Lößlandschaft Chinas einen äußerst eigentümlichen Charakter, über welchen sich Ferdinand v. Richthofen folgendermaßen äußert: „Als ich in die Gegend von Pingyangfu gelangte, hatte eine anhaltende Dürre das Aufkommen der Saaten vollkommen verhindert. Der Boden war kahl und einförmig gelb; wie ein Wüstenland lag das sonst so fruchtbare Tal vor mir. Man glaubte bei der klaren Atmosphäre jede Unebenheit des Bodens wahrnehmen zu müssen; allein einige in unmittelbarer Nähe gelegene Schluchten abgerechnet, schien das Land so gleichmäßig, daß man meinte ein Regiment Kavallerie müsse im Fluge über die weite Ebene hineilen können. Und doch ist dieselbe so unzugänglich, daß selbst der Fußgänger verloren ist, wenn er sich nicht an die gebahnten Wege hält; die Schwierigkeiten des Fortkommens sind dann größer, als wenn man sich zwischen Felsen und Klippen befindet. Wandert man von einem Flusse, der sein Bett in den Löß eingeschnitten hat, in einer der Schluchten hinauf, so vereinigen sich bald mit ihr andere Schluchten von rechts und links, kleinere und größere, und in jeder derselben, wenn wir sie verfolgen, kommen wir zu neuen Rissen, und jeder von diesen verzweigt sich gegen seinen Oberlauf mehr und mehr. Steigen wir zu ihrem letzten Anfang hinauf, so finden wir die meisten schon an ihrer Ursprungstelle als Risse von 30 bis 50 Fuß Tiefe bei einer Breite von oft nicht mehr als 3 bis 6 Fuß. Wandert man dagegen an der Oberfläche der so sanft aussehenden Lößmulde abwärts, oder verläßt man dort einen der gebahnten Wege, so steht man plötzlich am Rande eines dieser tiefen Risse; da man nicht über denselben hinüber kann, so geht man die Spalte entlang aufwärts; aber bald wird der Weg durch eine neue Kluft verstellt, die unter einem schiefen Winkel in die erste einmündet; man folgt ihr und verliert noch mehr die Richtung des beabsichtigten Weges. Dann kommen abermalige Abzweigungen, und wenn man ihnen entlang geht, so ist man bald in dem Gewirre der immer neu hinzukommenden Schluchten verloren. Sorgfältig wandert man zu dem ersten Punkte zurück und versucht das Fortkommen nach abwärts, aber da gelangt man bald an einen klippenförmigen Vorsprung, der auf der einen Seite von der ersten Schlucht, auf der andern von einer zweiten, seitlich ein-

mündenden begrenzt wird. Mühsam steigt man an einigen der Terrassen hinab, aber wenn man auf die letzte derselben gelangt, so stürzt sie mit senkrechten Wänden nach dem Boden der beiden Risse ab.

Auf diese Weise bietet eine Lößlandschaft die wechselvollsten Bilder, wie man sie sonst nirgends auf der Erde zu sehen bekommt. Und Millionen von Menschen hausen in diesem Lößgebiet in höhlenartig in den Löß gegrabenen Wohnungen, deren Wände mit einem Zement ausgestrichen sind, der aus den schichtenweise darin vorkommenden

Fig. 167. Tundra in Alaska. Im Vordergrund die Geweihe vermutlich im Zweikampf zugrunde gegangener Elche.

Kalk- und Mergelknauern, eben den Lößmännchen, angestrichen wird. Er sichert Festigkeit und Trockenheit und trägt zu dem behaglichen Charakter der Wohnungen bei. Manche derselben hat Jahrhunderte hindurch derselben Familie zum Wohnsitz gedient. An den Grenzen der Mongolei in großen Teilen von Tschili, Schansi und Schensi begegnet man täglich derartigen Ansiedelungen. Es kommt vor, daß man in einem fruchtbaren, reich angebauten Talboden nicht ein einziges Haus sieht. Vergebens fragt man sich, wo die Bewohner, welche diese Arbeit verrichtet haben, leben, bis man an die Lößwand herantritt,

Digitized by Google

die das Tal seitlich begrenzt. Hier wimmelt es wie in einem aufgestörten Bienenschwarme; überall strömen Menschen aus dem Innern der gelben Erdwände heraus."

Während der als Löß zusammengewehte Wüstensand ursprünglich Steppe war, wie der Humusboden eigentlich Wald trägt, so ist das arktische Gebiet mit seiner geringen Wärmezufuhr, dem kurzen Sommer, dem überaus langen Winter und der fast anhaltenden Schneedecke zur Tundra geworden, deren Pflanzendecke aus Moosen und Flechten und dazwischen eingestreuten Stauden, Kräutern und niedern, kriechenden Beerensträuchern gebildet und allerwärts von Sumpfmooren durchsetzt wird, aber ohne den schwankenden Boden anderer Moore, weil das Grundeis in so geringer Tiefe unter der Oberfläche liegt, daß auch im Sommer Renntierschlitten darüber hinweggleiten können. Je nach dem Vorwiegen der Moose oder Flechten unterscheidet man Moos- oder Flechtentundren, die auf einer dünnen Erdkruste auf mächtigen Massen von Diluvialeis ruhen, das da und dort in seinen Spalten ganze Körper von riesigen Mammuts und wollhaarigen Nashörnern aufs beste konserviert in sich birgt und sie gelegentlich beim Abtauen an Halden zutage treten läßt. Nur dort, wo das Eis bis zur Oberfläche hinaufreicht, ist der Boden ganz vegetationslos. Sonst wird jedes Plätzchen von der überaus genügsamen hier angesiedelten Pflanzenwelt ausgenützt. Und die Blütenpflanzen der Tundra geben ihr trotz ihrer geringen Artenzahl während des kurzen Sommers doch ein prächtiges Aussehen, da sich dann gelbe, blaue und weiße Steinbrecharten mit den dunkelgelben Blüten der Sieversia glacialis, blaue Blumenmatten mit grünen und gelben, mit sterilem Dünensand und kleinen Grasrasen gefällig mischen. Bis hoch in den Norden kommen zerstreut an geschützten Stellen Gebüsche von zwerghaften Weiden, Birken und Erlen vor.

Diese trostlose Einöde wird von Myriaden Mücken belebt, welche nach ihrer im Wasser vor sich gegangenen Jugendentwicklung aus den braunen Morästen steigen um als Weibchen, denn nur diese saugen Blut, die spärlichen hier aushaltenden Menschen und Tiere aufs grimmigste zu plagen und ihnen das Leben zur Pein zu machen. Das Wort Tundra ist der syrjänischen Sprache entlehnt und bedeutet so viel wie ‚baumloser Ort'. Den Eindruck, den sie auf den Europäer macht, schildert Spöser in seinem Werke ‚Nowaja Semlja' mit den Worten: „Ertötend einförmig ist der Eindruck der flachen Tundra, in weitem Umkreise, endlos unbegrenzt verliert sich der Horizont in unerreichbare Fernen. Keine Abwechslung, kein Schatten, keine Nacht im Sommer,

Licht, Wind und Schall zittern grenzlos aus; überall weht es, überall ist es unheimlich, still und stumm. Den ganzen Sommer hindurch währt auf der hochnordischen Tundra der eine und einzige, endlos lange Sommertag, beleuchtet von dem blassen Lichte eines mondartigen, in Nebelwolken verschleierten Gestirns, das der Mensch frechen Blickes ungestraft anglotzen darf. Entnervend ist dieser Anblick, unter dessen stetig wirkendem Einflusse der Mensch zum in sich gekehrten, stumpfen Samojeden herabsinkt."

So sehen wir die Verwitterung mit Hilfe der Atmosphärilien überall und immerfort vor sich gehen und es kann uns deshalb nicht wundern, daß der größte Teil der Erde von Trümmergesteinen bedeckt ist. A. Tillo hat berechnet, daß vom Boden des uns bekannten festen Landes der Erde 25 Prozent Laterit, 18 Lehm, 21 Löß und verwandte vom Winde zusammengetragene Bildungen, 8 Gletscherschutt, 7 Sand, 6 vom Winde abgetragener und 5 Prozent vom Eise abgeschliffener Boden seien. Die festen Gesteine liegen nur in wenigen Gebieten der Erde nackt zu Tage; außer in Felswüsten bloß auf subpolaren Inseln und in hohen Gebirgen.

Fig. 168. Sortavala in Finnland am Nordwestende des Ladogasees. Typische Rundhöckerlandschaft mit zahlreichen Seen, welche durch die abschleifende Wirkung des langsam in über 1000 m Dicke darüber hinwegströmenden skandinavischen Inlandeises der letzten Eiszeit geschaffen wurde.

Diese beiden letzteren haben aber auch einst eine Humus- und Schuttdecke besessen, aber diese wurde von den Gletschern der vergangenen Eiszeiten hinweggetragen, so daß nach Ablauf derselben die unaufhörlich arbeitende Verwitterung von neuem beginnen muß, eine Hülle, wie sie sie vordem getragen, um sie zu schaffen. Wenn fast $^3/_5$ von Norwegen steriler Fels und nur 4,8 Prozent des Landes mit Ton, Sand und Kies bedeckt sind, daher auch nur 2,9 Prozent der Oberfläche Äcker und Wiesen tragen können, so muß man an die Schuttmassen der Länder im Süden und Osten von Skandinavien denken, die in von 40 bis 200 m wech-

Digitized by Google

selnder Mächtigkeit mit Schutt vom skandinavischen Gebirge bedeckt sind, welchen das in den zentralen Teilen wohl gegen 2000 m mächtige skandinavische Inlandeis über ganz Norddeutschland und große Teile Rußlands ausgestreut hat. Rechnet man mit Helland die Mächtigkeit dieser Schuttmassen im Mittel auch nur zu 100 m, so erhält man immerhin noch 700000 cbm Gesteinsschutt, der vom skandinavischen Inlandeise aus dem zentralen Gebirge in die umliegenden Niederungen getragen wurde. Daß dabei im Innern Skandinaviens der vom Gletscher abgeschliffene Fels heute meist nackt zutage tritt, ist durchaus kein Wunder, wenn man bedenkt, daß die letzte Vereisung dieses Gebietes noch keine 20000 Jahre zurückliegt. Nur ganz frisch geflossene Lava oder die frische Wunde eines Bergbruches zeigt das Felsgerippe der Erde in ursprünglicher Nacktheit.

XIII.

Die Abtragung des Festlandes.

Die ununterbrochen an der Erdoberfläche vor sich gehende Verwitterung arbeitet der Erosion in die Hände, welche durch das fließende Wasser, das der Wirkung der Schwerkraft folgt, die Berge erniedrigt und nicht ruht bis alle Oberflächenerhebungen der Erde abgetragen und deren Trümmer im Weltmeere versenkt sind. Und gerade diese Erosion schafft das mannigfaltige Oberflächenrelief der Erde, die großen Formen der Gebirge und die bescheideneren Modellierungen der jenen vorgelagerten Niederungen. Indem das auf die Landerhebungen niederfallende Wasser in Form von Regen oder Schnee von den Höhen in die Niederungen abströmt, schleppt es je nach dem Gefälle, mit dem es talabwärts und schließlich ins große Weltmeer strömt, kleinere und größere Schuttmassen, von großen Felsen, die in der Hochgebirgsregion liegen bleiben, bis zum feinsten Sand und Ton, die in der Regel das große Klärbecken der Erde, den Ozean, erreichen, mit sich, rollt sie in der Strömung nicht nur gegenseitig ab, sondern schleift mit ihnen auch den Untergrund, über den sie mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit bewegt werden, beständig aus und vertieft so immerfort sein Strombett, das es sich zu seinem Abflusse gegraben hat. Bei dieser Wassererosion ist wie bei der Wind- und Gletschererosion, die im gleichen Sinne wirken, die abschleifende Wirkung der festen mitgeschleppten Gesteinstrümmer ein überaus wichtiges Moment, indem diese durch ihre Bewegung wie eine harte Feile gegen die Unterlage wirken, welche sonst dem Wasser allein, wie auch dem Wind und Eis größten, ja meist vollkommenen Widerstand leisten würde. Die Erosion arbeitet also vornehmlich mit Hilfe der Gesteinstrümmer selbst, die sich durch die Verwitterung von den Bergen lösen. Nur da wo die Verwitterung rascher fort-

schreitet als die Auflösung und Wegführung durch das abfließende Wasser entstehen Schuttlager, die den nackten Felskern verhüllen und im Hochgebirge oft ganz gewaltige Dimensionen annehmen.

Die Gestaltung der Berge bringt es mit sich, daß der sich von ihnen ablösende Schutt nach unten und außen fällt und sich an deren

Fig. 169. Die Drei Zinnen in den Dolomiten Südtirols (3003 m). Infolge des großen Widerstandes, den der Dolomit seiner Auflösung entgegenstellt, sind hier die Berggipfel in Form von solch wildzerklüfteten, turmartig steilen Felszähnen entwickelt, deren Fuß jedoch von mächtigen Schutthalden eingehüllt ist als Zeichen dafür, wie energisch trotzdem die Erosion an diesen harten Felsen an der Arbeit ist. Im Vordergrund und rechts bei der Schutzhütte durch Gletscherschliff eingeebnete Rundhöcker. (Nach Photogramm von Würthle & Sohn.)

Fuß anhäuft. Aber einmal zerkleinert und dadurch der Luft und dem Wasser zugänglicher geworden, zersetzt er sich immer weiter, wird immer kleinkörniger und verfällt so um so leichter dem gelegentlichen Fortgeschwemmtwerden durch das Wasser heftiger Regengüsse oder der Schneeschmelze.

Die Schutthalden zeichnen auf ihrer Oberfläche die Bewegungen ab, von denen sie so lange immer wieder ergriffen werden, als sie nicht

durch eine in alle ihre Spalten sich einwurzelnde Pflanzendecke festgehalten werden. Dieselbe besiedelt natürlich stets zuerst die älteren, von herausgewittertem Ton bereits gelblichen Stellen und rückt von dort immer mehr in die beweglicheren jüngeren Teile derselben hinein. Dabei bedingt die Gesteinsbeschaffenheit durchaus die Steilheit der Gehänge und die Formen der sie abstoßenden Gipfel. Für jede Felsart mit bestimmter Zerklüftung gibt es eine Grenze der möglichen Steilheit, welche wir als Maximalböschung bezeichnen. Wird diese an irgend einer Stelle des Hanges durch Herausfallen von losgewitterter Gesteinsmasse einmal überschritten, so folgt ein allmähliches Nachbrechen der zu wenig gestützten oberhalb liegenden Partien, das so weit aufwärts schreitet, bis es an der Kante des Grates angelangt ist. Das kann man sehr schön beispielsweise an den den Walensee im Norden einfassenden Churfirsten sehen, die ursprünglich einen zusammenhängenden Kamm bildeten.

In der warmen Jahreszeit ist es im Hochgebirge nie ganz still, indem ganz unbedeutende Anlässe, der harte Schlag der Hufe springender Gemsen, ein plötzlicher Stoß bewegter Luft, wie er etwa einem Gewitter vorangeht, ein sich aus dem Gefüge lösender verwitterter Stein, oder das Rutschen von der Schneeschmelze erweichten Schuttes plötzlich salvenartige Steinschläge auslösen, die polternd in die Tiefe stürzen und den nichtsahnenden Kletterer vielfach bedrohen. Stürzen größere Stücke des Berges samt der sie bedeckenden Vegetation herab, so spricht man von einem Bergsturze. Diese erfolgen aus sehr verschiedener Veranlassung. Entweder sind es Felsmassen, die schon vorher auf dem Punkte waren, an welchem die natürlichen Böschungsverhältnisse eben noch den nötigen Halt boten, und nun plötzlich, auf irgend eine Weise dieser Unterstützung beraubt, herabstürzten. Das geschieht beispielsweise wenn steil aufgerichtete Schichten gegen ein Tal einfallen. Oder unter einer geneigten Masse von festem Gestein liegt eine dünne Schicht von Mergel oder Ton, an der die Sickerwasser sich stauen und, an ihr abwärts geleitet, sie auswaschen. Dann kommt einmal ein Zeitpunkt, wo die darüber liegende Gebirgsmasse die Stütze verliert und auf der unterwaschenen Schichtfläche in die Tiefe gleitet. So ist durch das Abrutschen einer gewaltigen Schicht grauer Liaskalke auf einer geneigten Mergelschicht im frühen Mittelalter ein Teil des Monte Zuna bei Roveredo in Südtirol ein gewaltiger Bergsturz erfolgt, der mit seinen Massen die Etsch hoch aufstaute.

Das gleiche war beim am 2. September 1806, also just vor 100 Jahren zu Goldau erfolgten Bergsturze der Fall, der sowohl an

Masse des Sturzes als auch an Größe des Schadens die größte in historischer Zeit erfolgte Bergsturzkatastrophe der Schweiz ist. Der Roßberg, der ihn verursachte, besteht aus mächtigen Bänken von miocäner Nagelfluh, wie sie auch den Rigi zusammensetzen; dazwischen lagern stellenweise einige weniger dicke Schichten von Mergel. Alle diese Nagelfluh- und Mergelschichten fallen ungefähr parallel dem Abhange des 1563 m hohen Roßberges nach Süden. Oben am Grate lagerte

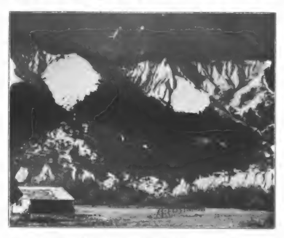


Fig. 170. Durch strömendes Wasser in lockeren Moränenschutt der letzten Eiszeit gerissene Schluchten bei Kandersteg im Berner Oberland mit stark verzweigten Erosionsrinnen am Beginne derselben. Im Bilde links ein durch Erdrutsche vertieftes Erosionstal, vor welchem sich ein mächtiges, teilweise schon mit Pflanzenwuchs bekleidetes Schuttdelta angesammelt hat. (Nach Photogramm von Prof. Brückner.)

als ein Überrest einer einst viel größeren Felsmasse, von der in früheren Zeiten die unteren Partien in die Tiefe abgerutscht waren, eine etwa 32 m mächtige Nagelfluhschicht auf einem 2 bis 3 m dicken Mergellager. Durch zahlreiche senkrechte Spalten war in jenem sehr regenreichen Jahre, dem zudem mehrere ungewöhnlich niederschlagsreiche Jahre vorangegangen waren, das Wasser durch die Nagelfluh zum Mergel hinabgedrungen und hatte diesen gehörig durchweicht, so daß die Reibung zwischen ihm und der Nagelfluhschicht, die noch einzig den Berg zusammenhielt, verringert wurde. Dadurch erweiterten sich zunächst lang-

Digitized by Google

sam die Spalten und man vernahm im darauf wachsenden Walde von Zeit zu Zeit ein vom Zerreißen der Baumwurzeln herrührendes dumpfes Knallen. Es bildeten sich immer mehr Risse im Boden, dazu kamen Aufstauungen in Form von sich übereinanderschiebenden Humusschichten.

Der Besitzer des obersten Hauses am Berge hatte schon einige Tage vor dem endlichen Sturze seine Wohnung abgebrochen und das Holzwerk an eine ihm sicher scheinende Stelle geschafft. Da erfolgten am Vormittag und Nachmittag des 2. Septembers einzelne Abbrüche kleinerer Felsmassen. Die Einwohnerschaft des Tales hörte das Getöse wohl und wußte, daß ein Bergsturz bevorstehe, aber sie glaubte, derselbe werde sich auf einen mäßigen Umfang beschränken und seinen Weg durch unbewohnte Strecken nehmen. Da tat sich bald nach 4 Uhr hoch oben quer über den Berg eine Spalte auf, die mit jedem Augenblicke tiefer, breiter und länger wurde. Die dadurch abgetrennte Schicht fing an zu Tale zu gleiten, erst langsam, dann immer schneller und schneller.

Bei dieser Abwärtsbewegung, die natürlich nicht überall gleichmäßig erfolgte, indem gewisse Partien fester hielten und zu rutschen zögerten, wurde die Nagelfluhmasse zerrissen, teilweise in- und übereinandergeschoben, bis schließlich eine gewaltige Trümmerlawine von großen und kleinen Felsblöcken, untermischt mit Erde und zersplitternden Baumstämmen, entstand, die mit furchtbarem Getöse strahlenartig auseinanderstrebend, auf das mit zahlreichen Obstbäumen bestandene Wiesengelände von Goldau herniederfuhr und dasselbe unter einer Felstrümmermasse von etwa 15 Millionen cbm begrub. In einer Breite von 320 m und einer Länge von 1500 m fiel die 32 m mächtige zu Felsschutt sich auflösende Nagelfluhschicht um rund 900 m. Dabei entwickelte sie natürlich eine ganz gewaltige Kraft der Bewegung, welche sich auch darin zeigte, daß ein Teil der gewaltigen Sturzmassen am gegenüberliegen Hange des Rigi weit hinaufbrandete, während ein anderer Teil über das flache Ried sich in den Lowerzersee ergoß, dessen Wasser zu einer gewaltigen Woge aufgewirbelt wurde. Eine undurchdringliche Staubwolke von rötlichbrauner Farbe breitete sich über den Schauplatz der Katastrophe, die in der Zeit von fünf Minuten über 471 Menschen und 320 Stück Vieh den Tod gebracht und zugleich 111 Wohnhäuser, 220 Ställe und Scheunen und 2 Kirchen vernichtet hatte.

Ein Augenzeuge, der Arzt Dr. Karl Zay in Arth, schildert die schrecklichen Ereignisse folgendermaßen: „Das unterhalb gelegene Berggehänge fängt an, sachte hinzugleiten. Mit einem Male stürzt zu oberst an der größten Felswand ein mächtiges Stück nieder, die

Die Partnachklamm bei Partenkirchen.

(Nach Photogramm von Würthle & Sohn.)

Digitized by Google

Felswände fangen langsam an, von ihrer Mutterschicht sich loszutrennen und gegen die Tiefe hinabzusinken. Das Erdreich am Bergabhange fängt nun auch an, sich von einander zu schieben und statt der grünen Rasendecke die bräunlich-schwarze Farbe nach außen zu kehren. Die unteren Wälder bewegen sich allgemach, und Tannenbäume in unzähliger Menge schwanken hin und her. Ganze Scharen von Vögeln lüften schnell ihre Flügel und richten unter Geschrei ihren Flug dem Rigi zu. Einzelne größere Steine rollen schon den Berg hinab, zerschmettern Häuser, Ställe und Bäume, und mehrere stürzen in verschnellertem Laufe als Vorboten der bald nacheilenden Masse in die Tiefe des Tales.

Nun wird mit einem Mal die Bewegung der Wälder stärker; ganze Reihen der vorher losgewordenen und sich senkenden Felsstücke, ganze Reihen von stolzen Tannen, auf der obersten Felskante sonst so prachtvoll ruhend, stürzen in Unordnung über einander und in die Tiefe nieder. Alles Losgerissene, Wald und Erde, Stein und Felswände, gerät jetzt ins Gleiten, dann in schnellern Lauf und dann in blitzschnelles Hinstürzen. Getöse, Gekrach und Prasseln erfüllt wie tief brüllender Donner die Luft, erschüttert das Ohr und tönt im Widerhalle von tausend Bergklüften noch gräßlicher. Ganze Strecken losgerissenen Erdreichs, Felsstücke so groß und noch größer als Häuser, ganze Reihen von Tannen werden aufrecht stehend durch die Luft geschleudert. Die Schichtfetzen fliegen durch die Luft, man sieht unter ihnen durch die Landschaft im Hintergrunde. Ein rötlichbrauner Staub erhebt sich in Nebelgestalt von der Erde, hüllt die zerstörende Lawine in trübes Dunkel ein und läuft als düstere Wolke, wie vom Sturmwinde gepeitscht, vor ihr hin. Berg und Tal sind erschüttert, die Erde bebt, Felsen zittern, Menschen erstarren beim Anblicke dieser fürchterlichen Szenen. Vögel, im Fluge gehindert, fallen auf die Stätte der Verheerung nieder, Häuser, Menschen und Vieh werden schneller als eine aus einer Kanone losgeschossene Kugel über die Erde hin und selbst durch die Luft getrieben. Die aus ihrer Ruhe aufgeschreckte Flut des Lowerzersees bäumt sich auf und fängt im Sturmlaufe auch ihre Verheerung an. Ein großer Teil der zerstörenden Masse erstürmt, im Tale angekommen, noch den jenseitigen steilen Fuß des Rigiberges, und einzelne Bäume und Felsstücke fliegen hoch am Abhange hinauf. Während der wenigen Augenblicke, in welchen der Leser diese Schilderung liest, in der Frist von 3 bis 4 Minuten, hat das Ereignis begonnen und seinen Lauf vollendet."

Fast dreiviertel Jahrhunderte herrschte die Stille des Friedhofs über dem großen Grabe, bis die Schienenwege der zum Gotthard und

nach dem Süden strebenden Eisenbahn mitten durch das Trümmerfeld gelegt wurden. Jetzt braust der eilende Zug etwa 35 m über der Stätte dahin, da vordem fröhliches Leben pulsierte, und dem darin Vorbeifahrenden starren bald nach dem Verlassen der Station Goldau während 1 bis 2 Minuten die gewaltigen von jenem Naturereignisse herrührenden Blöcke rotbrauner Nagelfluh entgegen, die ihm eindringend

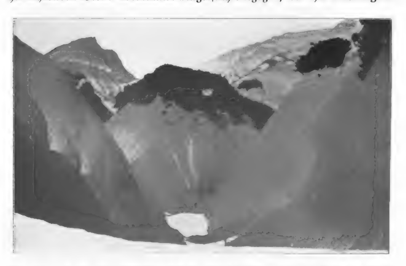


Fig. 171. In die von der letzten Eiszeit angehäuften gewaltigen Moränen durch das fließende Wasser eingesägte Schluchten in den Chaix Hills aus der Nachbarschaft des Mount Elias in Alaska. Typisch für solche Ansammlungen von Gletscherschutt ist, daß größere ungerollte Felsblöcke zwischen dem vollständig verwitterten erdigen Material, das allerdings die Hauptmasse der Moräne bildet, liegt. Da ist es kein Wunder, daß das fließende Wasser sich so energisch durch diese wenig widerstandsfähigen Schuttanhäufungen Bahn zu brechen vermag.

zu Gemüte führen, daß selbst das scheinbar festeste auf Erden, die Felskolosse der Berge, gelegentlich wanken und dem Gesetze der Schwere folgend, in die Tiefe stürzen können.

Eine andere Ursache hatte der am 11. September 1879 nachmittags nach 5 Uhr erfolgte **Bergsturz von Elm** im Kanton Glarus, der 83 Gebäude zerstörte, 115 Menschen verschüttete und etwa 10 Millionen cbm eocänen Flyschschiefers 1400 m weit zum Absturze brachte. Er war durch der Menschen Leichtsinn veranlaßt worden, die einen Steinbruch zur Gewinnung von Material für die Herstellung von Schiefertafeln und Schieferplatten 180 m tief in den Tschingelberg ge-

graben und ihn ganz unterwühlt hatten, bis die nicht mehr gestützte Partie abstürzte und dabei einen so starken Luftdruck ausübte, daß er Menschen in die Höhe wirbelte und in einiger Entfernung wieder absetzte. Die Gesteinsmasse brandete noch 150 m am gegenüberliegenden Hüniberg hinauf und rollte seitlich bis 6 km weit.

Viel gewaltiger als dieser war der am Ende der letzten Eiszeit während des sogenannten Gschnitzstadiums auf den sich zurückziehenden Rheingletscher erfolgende Bergsturz von Flims im Kanton Graubünden, der nach Heims Schätzung 15 Milliarden cbm zu Tal brachte. Das ist ungefähr so viel als der Krakatauausbruch vom Jahre 1883 in Bewegung brachte. Der davon herrührende Schutt erstreckt sich als zusammenhängender, wohl 600 m hoher Berg von Maiensässen ob Flims bis jenseits des Rheins und von der Nähe von Ilanz bis Reichenau. In diesem gewaltigen, das Vorderrheintal vollkommen absperrenden Schuttkegel hat der damals zu einem großen See aufgestaute Strom wie seine in ihn mündenden Zuflüsse tiefe Schluchten eingesägt und sich dadurch gewaltsam Abfluß verschafft.

Allerdings sind so gewaltige Bergstürze überaus seltene Ereignisse, wenn auch kleinere solche gar häufig auftreten. So hat man für die Schweiz allein aus geschichtlicher Zeit etwa 150 nennenswerte Bergstürze nachgewiesen.

Oft werden Bergstürze durch Erdbeben verursacht, wie bei der Besprechung des Vulkanismus bereits mitgeteilt wurde; dann erfolgt der Absturz an beliebigen Klüften, welche im Gesteine verlaufen. Unterwaschung durch einen Fluß und vermehrtes unterirdisches Abfließen des Wassers infolge unsinniger Entwaldung können gelegentlich auch schuld daran sein. Den letzten Anstoß zum Ausbruch der Katastrophe gibt dann in der Regel ein heftiger, mehrere Tage anhaltender Regenfall, wie ja in den Alpen die meisten Bergstürze im April, zur Zeit der Schneeschmelze, oder im September, nach den heftigen Regen des Spätsommers, sich ereignen.

Viel leichter als feste Felspartien kommen natürlich lose Schutt- und Geröllmassen in Bewegung, wie sie besonders im Gebirge zum Nachteil der sie durchfahrenden Eisenbahnzüge niedergehen. Ein solches Ereignis bereitet sich durch allmähliche Ansammlung des Schuttes längere Zeit vor; es bilden sich gewöhnlich auch allerlei Risse bevor die Massen endlich ins Gleiten kommen. Aus einem geneigten Tälchen bei Weesen am Walensee floß in den letzten Tagen des Aprils 1868 ein Schlamm- und Trümmerstrom herab, der in kurzem die Dorfstraße bedeckte, 18 Häuser

zerstörte und über das von ihm überschwemmte Gelände eine Schlammschicht von 1,5 m Höhe ausbreitete. Veranlassung dazu gab eine Lawine, die das Tälchen kurz vorher geschlossen hatte und hinter welcher sich eine ziemlich beträchtliche Trümmermasse staute, welche dann bei der Durchweichung des Lawinenschnees ins Rutschen kam. Viel größere Dimensionen nahm ein solcher Schlammstrom an, der im Jahre 1838 in Guldalen in Norwegen 50 Millionen cbm glazialen Tones ins Fließen brachte und dadurch einen 12 km langen See aufstaute, dessen Durchbruch dann eine 40 km lange Talstrecke verwüstete. In den ton- und mergelreichen Schichten des Apennins sind nach Ratzel Erdbewegungen dieser Art besonders häufig; er sagt, man könne die Erdrutsche geradezu als eine Landplage Italiens bezeichnen. Alle niederschlagsreichen Gebiete sind überhaupt davon heimgesucht.

Damit verwandt sind die viel gefürchteten Muren, in der Schweiz Ruffi genannt, welche bei rascher Schneeschmelze infolge einfallenden Föhnsturms oder nach starken Gewitterregen einen dickbreiigen Schlamm- und Schuttstrom in Bewegung setzen, der sich dann da, wo geringeres Gefälle eintritt, in oft beträchtlicher Dicke ablagert. Dadurch können weite Strecken fruchtbaren Landes mit Schutt überdeckt, wie man sagt, vermurt werden. Brechen solche Massen aus Seitentälern ins Haupttal hervor, so können durch sie Flüsse abgedämmt und gestaut werden.

Oft ist die unsinnige Abholzung der Wälder schuld an solchen Muren, wie auch an Wildbächen, ebenso das Beseitigen der von viel Wasser aufsaugenden Moosrasen durchwachsenen Legföhren und Alpenrosenpolster zur Gewinnung von neuen Alpenwiesen.

„Der Wald ‚bindet' den Boden", sagt Neumayr mit Recht, „und hindert die Abschwemmung loser Massen, er vermindert die Verwitterung des unterliegenden Gesteines und hemmt den raschen Abfluß des Wassers, welches in großer Menge aufgesogen wird. So kommt es, daß im Waldgebiete keine Sammelbecken sich ausbilden können Wird aber der Forst gelichtet, dann erweitern sich die Sammelbecken, und kein Widerstand setzt sich dem Murbruche mehr entgegen, denn die Grasnarbe der Alpenweiden bietet nur einen sehr unvollkommenen Schutz. Aber nicht nur die Waldverwüstung ist in hohem Grade verderblich; oberhalb der Region der Hochstämme sind die Abhänge von dem oft undurchdringlich verflochtenen, zähen Gestrüppe der Legföhren bewachsen, oder die buschigen Polster der Alpenrosen und Vaccinien (Heidel- und Preiselbeeren) überziehen die Böschungen und bieten treffliche Abwehr gegen wild abstürzende Wasserfluten. Es ist ganz überraschend, welche

außerordentliche Mengen von Flüssigkeit namentlich die zwischen den Alpenrosen üppig wuchernden Moosrasen aufsaugen. Allein auch dieser Vegetationsform ist der Krieg erklärt, sie muß fallen, um eine Ausdehnung der Alpenweiden zu ermöglichen, und damit ist weiterer Spielraum für die Murbildung gewonnen."

Das drohende Überhandnehmen und die verderbliche Ausbreitung der Wildbäche müssen unbedingt dieser Ursache, der leichtfertigen Vernichtung der natürlichen Schutzwehren, um eines raschen Gewinnes willen, zugeschrieben werden. „Wo der Wald fällt, fangen die Murbrüche an", sagt ein ausgezeichneter Kenner dieser Verhältnisse, und aus allen Teilen der Alpen lassen sich zahllose Beispiele für die Richtigkeit dieses Ausspruches anführen. Die bayrischen Berge, in welchen eine sehr ausgebildete Forstkultur herrscht und der Wald in der sorgsamsten Weise geschont wird, haben nur wenig von Wildbächen zu leiden; in den französischen Alpen, wo die Entholzung am weitesten vorgeschritten ist, haben die Verwüstungen den höchsten Grad erreicht, so daß im Jahre 1853 der Präfekt Bouvilles in einem amtlichen Berichte sagen konnte: „Wenn nicht energische Maßregeln getroffen werden, so kann man die Zeit vorhersagen, wo die französischen Alpen eine Wüste sein werden und Frankreich ein Departement weniger zählt."

Fig. 172. Wildbachverbauung bei Bilten im Kanton Glarus an den Abhängen des 1902 m hohen Köpfenstocks zwischen Walen- und Zürichersee.

Die dadurch entstandenen Schäden können zwar nicht geheilt, aber doch wesentlich gemildert werden durch eine systematische Bändigung der

Digitized by Google

Wildbäche durch **Talsperren**, die, um wirksam zu sein, mit ihren Verbauungen schon hoch droben im Sammelgebiete und nicht erst unten im Tobel zu beginnen haben, sodann auch durch sorgfältige **Aufforstung** der entwaldeten Berge. Seit zwei Jahrzehnten ist man in den Kulturstaaten mit großer Energie an diese meist nicht ganz leichte Aufgabe herangetreten, und spätere Generationen werden die guten daraus erwachsenden Früchte zu genießen haben.

Fig. 178. **Erdpyramiden bei Enseigne** im Evolenatale im südlichen Wallis. Der eine Moräne der letzten Eiszeit bildende Gletscherschutt ist überall da nicht vom atmosphärischen Wasser hinweggespült worden, wo ein größerer Felsblock die Unterlage beschirmte. Von den Pfeilern rechts ist der beschützende Deckstein nachträglich heruntergefallen, so daß sie nunmehr rasch der Abtragung verfallen werden.

Die Kraft des fallenden Wassers, alles, was sich ihm in den Weg legt, aufzulösen, loszureißen, fortzutragen, um es dabei immer mehr zu zerkleinern und mit abnehmendem Gefälle wieder abzulagern, die kann man an lockerem Gesteinsschutt auf engem Raume und in kurzer Zeit Werke im kleinen schaffen sehen, zu denen dieselbe Kraft in festen Gesteinen im großen Jahrtausende braucht. Wenn wir nach Regentagen in einer Landschaft wandern, wo Hohlwege in den von vielen Gesteinsblättchen durchsetzten Schutt, z. B. von Granit oder tonreichen Sandsteinen, eingeschnitten sind, so sehen wir an ihren Hängen zahllose kleine Kegel und Pyramiden ausgewaschen, deren jede mit einem solchen Gesteinsplättchen bedeckt ist. Wie aus größeren Felsen, die auf den Gletscher fallen, durch Wegschmelzen der gegen die Wirkungen der Sonnenstrahlen nicht beschützten Umgebung schließlich ‚Gletschertische' entstehen, die einen oft ziemlich hohen Fuß aufweisen, so bilden sich in mit solchen Steinen durchsetztem Schutte da, wo ihn das fließende Wasser, der strömende Regen nicht angreifen kann, eigentliche **Erdpyramiden** oder **Erdpfeiler**. Wie sie sich bei uns vorzugsweise aus tonigen Ablagerungen bilden, besonders in mit größeren Gesteinsblöcken durchsetztem Moränenmaterial, wie es uns die beigefügte Illustration aus der

Digitized by Google

Schweiz zeigt, so können sie anderswo ebenso gut aus vulkanischem Material, besonders aus Tuffen, entstehen. So ist z. B. eine großartige Tuffpyramidenlandschaft südlich vom Halys in Kleinasien aus weißem Tuff und schwarzer Lava herausgeschnitten. Da begegnen wir zahllosen mit großen Steinblöcken gekrönten Pfeilern, die der Regen wegen der sie schützenden Decke stehen ließ, während er die ganze Umgebung hinwegerodierte. Erst wenn die Decksteine gelegentlich einmal von ihrem hohen Sitze herunterfallen, beginnt der Regen die betreffende nun nicht mehr durch sie geschützte Tuffpyramide abzutragen.

So arbeiten der Regen und der schmelzende Schnee beständig an der Abtragung des Festlandes. Zu Bächen sich sammelnd graben die abfließenden Gewässer tiefe Schluchten durch die ausfeilende Wirkung der durch die Strömung transportierten und mit Kraft gegen den Untergrund bewegten Steine. Dabei ist natürlich die erodierende Wirkung eine um so größere, je stärker das Gefälle des zu Tal fließenden Wassers ist. So bilden sich überhaupt die Täler, die ja nur immer mehr verbreitete Abflußrinnen für das von dem Gebirge herabstürzende Wasser sind. Indem das Wasser stetig schon beim langsamen Auffalten und Emporwölben des Gebirgs sich seine Abflußkanäle in den harten Stein eingräbt, wirkt es talbildend. Und je höher die Berge gewölbt werden, um so größer ist das Gefälle des abfließenden Wassers, um so größer ist deshalb seine Erosionsenergie und um so schneller gräbt es sich tief in die Flanken des Gebirges, von dem es die überschüssige Feuchtigkeit ableitet, ein.

So hat das fließende Wasser in Verbindung mit der Verwitterung aus massigen einförmigen Gebirgskörpern mit der Zeit die so überaus mannigfaltig gegliederten Berggestalten herausgeschält, deren oft so wunderbaren Gestalten wir bei Gebirgswanderungen begegnen. Selbstverständlich ist auch im jüngsten Gebirge, das sich eben erst gebildet hat und das eben wegen seiner Jugend noch hoch über die Ebene hinausragt, kein Stück der ursprünglichen Oberfläche mehr zu sehen. Nicht nur ein großer, sondern der größte Teil ist schon abgetragen worden und das heute vorliegende reich gegliederte Relief war einst tief im Innern der Gesteinsmasse versteckt. So sind die Alpen wie die Pyrenäen, der Kaukasus, der Himalaya, die Anden ganz junge Gebirge, die ihre Hauptfaltung, wie wir gesehen haben, im Miocän, ja, teilweise sogar erst im Pliocän erfahren haben; aber trotzdem sind sie alle nur Ruinen, schwache Überreste dessen, was hier einst zum Himmel emporgestaut

Fig. 174. Typisches V-förmiges Erosionstal im Ostabfall der peruanischen Cordilleren gegen „La Montana" d. h. das Waldgebiet. (Nach Photogramm von Dr. H. Hoek, aus der Deutschen Alpenzeitung.) Der Gegensatz dieses vom fließenden Wasser geschaffenen Tales zu dem ihm in der folgenden Figur gegenübergestellten, durch Gletscherschliff erzeugten U-förmigen Trogtal ist deutlich in die Augen fallend.

war, das Wenige, was das erodierende Wasser hat stehen lassen. Die heute noch erhaltene Gebirgsmasse derselben ist kaum noch ¼ des einst hier vorhandenen. Es ist eben nur das, was das unermüdlich an ihr nagende Wasser noch nicht hat abtragen können, was bis heute noch zwischen den Tälern und Schluchten stehen blieb und erst später einmal der erodierenden Kraft des Wassers zum Opfer fallen wird.

Die Lage aller hohen Gipfel eines Gebirges ist in erster Linie von der Anordnung des um sie herum ausgefressenen Talnetzes abhängig. So stehen die höchsten Gipfel der Alpen, die wir als den Typus eines jungen Kettengebirges ganz besonders ins Auge fassen wollen, stets an den Verknotungen der Kämme, indem hier die Abtragung durch das fließende Wasser am wenigsten ausrichten konnte. Dabei ist es immer sehr wichtig, daß die sich in die Gebirge einsägenden Täler nicht zu nahe beieinander stehen; denn dann können keine hohen Kämme stehen bleiben, weil bei der Vertiefung

der Täler auch die Höhe der trennenden Kette entsprechend dem Böschungswinkel der Gehänge abnehmen muß. Ferner hängt es auch wesentlich von der Härte der betreffenden Gesteine und der dadurch bedingten größeren Widerstandskraft ab, ob einzelne Gipfel sich im Vergleich zu ihren Nachbarn höher zu halten vermochten oder nicht. Massig ausgebildete Gesteine, die nach allen Seiten gleich widerstandsfähig sind, erzeugen die schroffsten Bergspitzen. Liegen unter diesen widerstandsfähigen weniger widerstandsfähige Schichten, die leichter als die darüberliegenden herauswittern, so entstehen sogar überhängende Wände, indem die weichere Unterlage über den harten Schichten herausbröckelt und dadurch mancherorts höhlenartig vertiefte Wände entstehen, die man in der inneren Schweiz als ‚Balmen' bezeichnet.

Fig. 175. Noerodal mit Jordalsnut in Norwegen. Typisches durch Gletscherschliff erzeugtes und an der Sohle mit vom Fluß abgelagertem Schotter eingeebnetes U-förmiges Trogtal. Die als kleine Terassen angedeuteten Absätze der Talgehänge geben an, bis wohin das Tal von dem Gletscher der letzten Eiszeit ausgefüllt war. Im Vordergrund und hinten an der verengten Stelle sind Talabstürze.

An Berggipfeln, die aus Sedimentgesteinen bestehen, deren einzelne Schichten als Produkte verschiedener Zeiträume und verschiedener Bedingungen eine oft ganz verschiedene Zusammensetzung und damit auch eine verschieden große Verwitterbarkeit zeigen, bemerken wir meist treppenförmig gebrochene Böschungen. An ihnen sind dann die Verwitterungsterrassen als Rasenbänder oft von weitem zu erkennen, wie z. B. am Glärnisch. Unter ihnen zeigen nur die durch Dynamometamorphose hochgradig veränderten kristallinischen Schiefer ein mehr gleichförmiges Gefälle, ohne einen auffallenden Wechsel von leichter und schwerer verwitternden Massen, und damit auch keine Terrassenprofile.

Mit der Auffaltung wurde also die alpine Gebirgsmasse, wie alle

Digitized by Google

übrigen gleichzeitig mit ihr entstehenden, durch die immer weiter in das Gebirge einschneidende Durchtalung gegliedert, in einzelne Ketten aufgelöst und in diesen die Gehänge je nach deren Gesteinsbeschaffenheit herausmodelliert. Indem aber die Falten so hoch aufgetürmt wurden, daß die höchsten Teile des Gebirges in die Schneeregion tauchten, entstand eine ungleiche Weiterbildung der einzelnen Berg- und Talformen. Überall wo eine Firnbedeckung eintrat, wurde der Gesteinskörper vor den verwitternden Einwirkungen greller Temperaturwechsel geschützt und dadurch weniger der Zerstörung preisgegeben als die etwas niederigeren, nicht mehr verfirnten Nachbarn. Aber am unteren Gürtel der Schneeregion, da, wo die Temperatur am häufigsten um den Gefrierpunkt schwankt und dadurch eine energische Auseinandersprengung durch das jeweilen gefrierende Wasser vor sich geht, da ging die Gebirgsabtragung dafür um so energischer vor sich. Dadurch bildeten sich um hohe Gipfel Denudationsflächen, die unter der Schneegrenze einsetzten und bewirkten, daß diese hohen Gipfel je länger desto isolierter sich heraushoben. Indem aber durch die Erosion an den Seiten die Flanken des Gipfels immer näher zusammenrückten, wurde der Berg um so schlanker, bis er wie beispielsweise das Matterhorn keine Firnhaube mehr auf seinem Scheitel zu tragen vermochte. Von dem Momente an verwitterte er aber allseitig stark und wurde rasch niedriger.

Die immer tiefer sich herabsenkende Firngrenze führte dann in den verschiedenen Eiszeiten zu einer ausgedehnten Vergletscherung der Alpen. Während der Höhe derselben erfüllten vielfach über 1000 m mächtige Gletscher die inneren Alpentäler und ergossen sich weit in die umliegenden Niederungen. Damit hörte die gewöhnliche Wassererosion in diesen vergletscherten Gebieten fast völlig auf, dafür aber erlitten die Täler durch die in ihnen fließenden gewaltigen Eisströme, deren schwere Massen durch die mitgeführten Gesteinstrümmer der Grundmoräne eine überaus energische Abschleifung vollzogen, eine starke Ausweitung und Vertiefung zu Trögen von einem U-förmigen Querschnitt, während die durch fließendes Wasser erodierten Täler einen V-förmigen Querschnitt aufweisen.

Da nun die Gletscher in den Seitentälern eine geringere Mächtigkeit besassen als in den Haupttälern und zudem noch bei dem Zusammenstoßen mit dem Hauptgletscher aufgestaut wurden und dadurch viel weniger rasch talabwärts fließen, also auch entsprechend schwächer erodieren konnten, so vertieften sie das Seitental in weit geringerem Maße als das Haupttal. Daher kommt es, daß in fast allen Alpentälern die Nebentäler nicht gleichsohlig ins Haupttal münden, sondern viel höher

durch eine Stufe in dasselbe gelangen. Über diese Stufe stürzte dann später, nach Hinwegschmelzen der Gletscher infolge Verschwindens der klimatischen Ursachen, die zur Vereisung geführt hatten, der Fluß des Nebentales und suchte diesen Gefällsbruch auszugleichen, indem er eine oft nur ganz schmale, unwegsame Schlucht in den Stufenrand einschnitt und teilweise heute noch einschneidet. So entstanden und entstehen in der Gegenwart viele Klammen, die ob ihrer Naturschönheiten oft viel besucht werden.

Der Betrag der Gletscherosion ist in neuerer Zeit eingehend studiert worden. So fand Hans Heß, daß der Hintereisgletscher in den Ostalpen, der allerdings eine relativ geringe Mächtigkeit besitzt, sein Bett jährlich um 2 bis 3 cm vertieft. Durch diese ihre verhältnismäßig intensive Erosionstätigkeit haben die Gletscher der Eiszeit die gewöhnlichen V-förmigen, durch ausschließliche Wassererosion geschaffenen Täler, wie sie vor der Vergletscherung in den Alpen bestanden, in U-förmige, wie Penck sich ausdrückt, übertiefte Täler ausgeschliffen, d. h. in sogenannte Trogtäler verwandelt. Da das bewegte Eis an den Seitenwänden nur ganz langsam floß und dort keine große erodierende Kraft entfalten konnte, so war die Erosion am Grunde des Troges eine weit größere als an den Rändern. Zudem schützte das Eis sein Bett vor Verwitterung, die aber an den Gehängen oberhalb des Gletschers um so tätiger an der Arbeit war. Dadurch wurden die über die Gletscheroberfläche sich erhebenden Hänge zu breiten Verwitterungsterrassen in der Höhe der Eisstromoberfläche abgetragen. Überall also da, wo ein Gletscher längere Zeit verweilte, entstand so eine Terrasse, die mehr oder weniger hoch dem Tal entlang läuft. Eine solche die Höhe des Gletschers zur letzten Eiszeit angebende Terrasse sehen wir auf dem Titelbilde, dem Gosautale. Noch deutlicher ist sie beispielsweise am Vierwaldstättersee ausgesprochen, da wo einerseits Seelisberg und anderseits auf der anderen Seite des Sees Morschach auf solchen Terrassen liegen. Ein nicht minder bekanntes klassisches Beispiel aus dem Berneroberland ist die Terrasse von Wengen, der gegenüber sich diejenige von Mürren in gleicher Höhe befindet, von welcher der Staubbach herunterstürzt.

Höher liegende Terrassen stammen aus vorhergehenden Eiszeiten. Nun bedeutet jede solche Längsterrasse eine Gefällsknickung im Querprofile der Täler. So viel Knicke, so viel länger bestehende stärkere Vergletscherungen. Danach kann man schon aus dem Studium unserer Alpentäler eine mindestens viermalige länger dauernde und intensiv auftretende Vergletscherung feststellen. Und dieser Vierzahl entspricht auch

vollkommen die Zahl der vier und mehr übereinanderliegenden Terrassen, in welchen die durch die Abschmelzwässer der vier verschiedenen Eiszeiten talabwärts über die Niederungen verfrachteten Flußgeschiebe, die sogenannten **fluvio-glazialen Schotter**, ausgestreut wurden. Erst bei der Besprechung der Eiszeit am Schlusse des zweiten Bandes wollen wir auf die Einzelheiten dieser Verhältnisse näher eintreten.

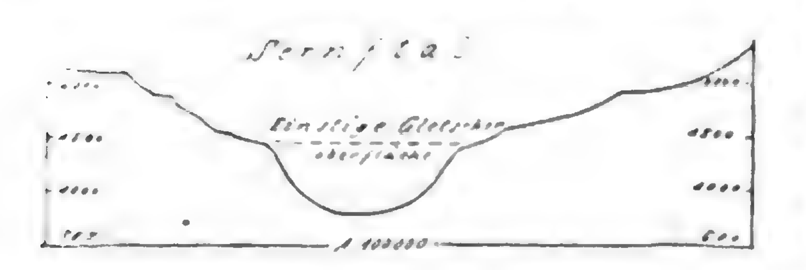


Fig. 176. Durchschnitt durch das Sernftal im Kanton Glarus als Typus eines durch Gletscher ausgeschliffenen Trogtales (nach Dr. E. Blumer).

Jeder Längsterrasse eines Tales entspricht nun auch eine Talstufe im großen Längstal, welche man erreicht, wenn man erstere talaufwärts verfolgt. Diese entspricht vermutlich jeweilen einem längeren Halte beim Rückzuge des Gletschers. Soweit der Gletscher nach auswärts reichte und das Tal bedeckte, blieb der Talboden der Ver-

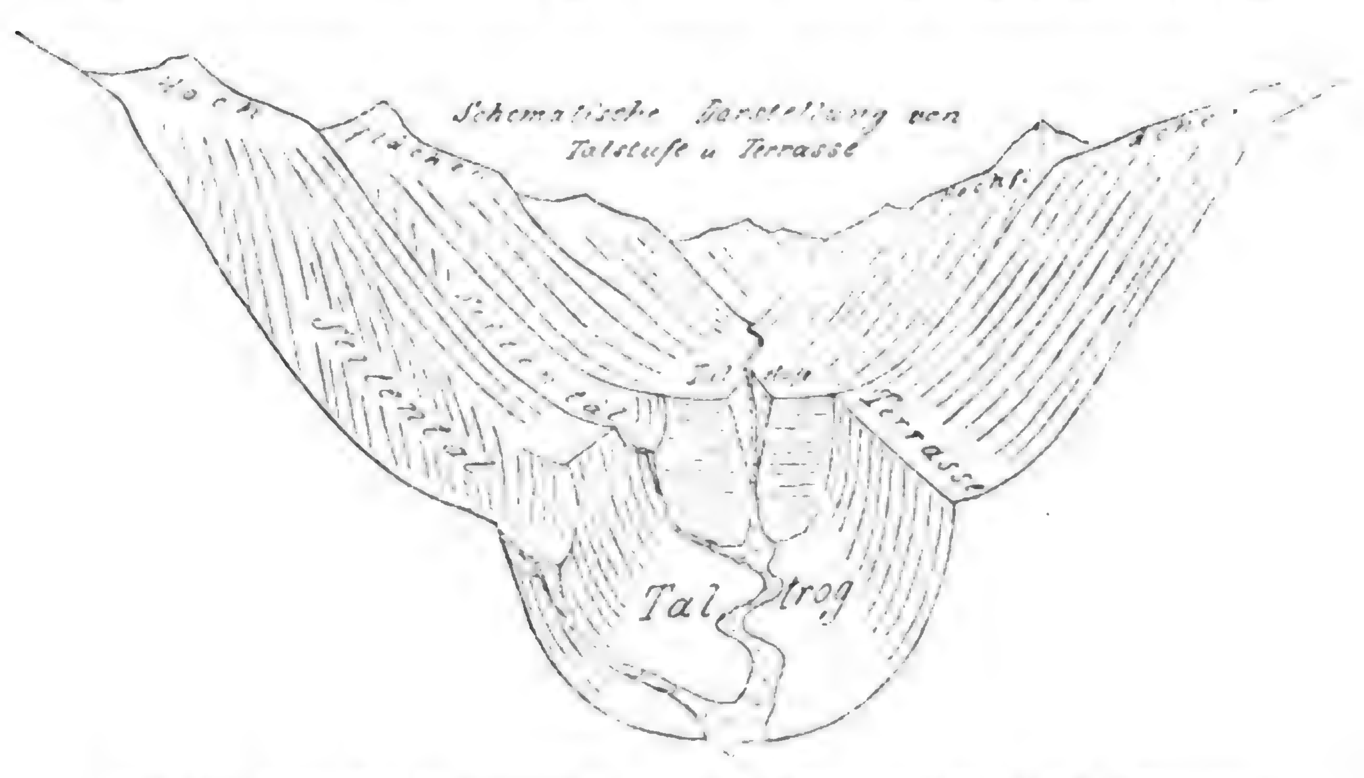


Fig. 177. Die Bildung von Talstufen und Terrassen (nach Dr. E. Blumer).

witterung entzogen und vor weitgehender Abtragung geschützt. Aber da, wo der sehr lange stationär bleibende Gletscher seine Schmelzwässer zutage treten ließ, da konnten diese sehr energisch erodieren und fraßen abwärts vom Gletscherende das Tal stark aus; so mußte allmählich

unterhalb des Gletscherendes ein Absatz im Talboden, eine Talstufe entstehen.

Wie die Terrassen ebene oder flach geneigte Partien der Seitengehänge sind, die den Talboden, allerdings oft unterbrochen, in gesetzmäßigem Abstande auf große Erstreckungen hin begleiten, stellen die Talstufen die einzelnen Abschnitte der Talsohle dar, wenn diese nicht gleichmäßig nach außen geneigt ist, sondern nach Art einer Treppe das

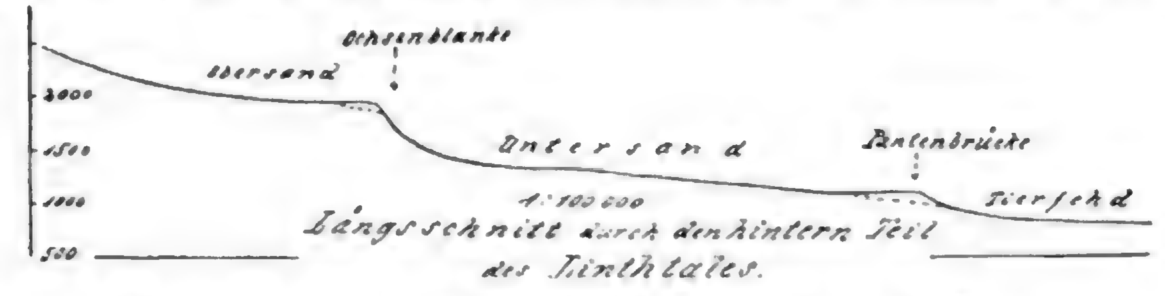


Fig. 178. Talstufen im hinteren Linthtal (nach Dr. S. Blumer).

Ausgangsniveau zu erreichen sucht. „So treffen wir", schreibt Dr. Samuel Blumer in Basel in einer Arbeit über das alpine Relief, „im Hintergrunde des Linthtales die drei Talstufen von Thierfehd 819 m, Untersand 1100—1300 m und Obersand 1938 m (s. Fig. 178), während als Terrassen zu erwähnen sind: Altenoren 1300—1400 m, Obbort 1100 m, Braunwald (s. Fig. 179). Altbekannt als Stufental ist das Tal des

Fig. 179. Querschnitt durch das Linthtal (nach Dr. S. Blumer).

Hinterrheins mit den drei Talstufen des Domleschg (700 m), Schams (1000 m) und Rheinwald (1400 m). Rütimeyer hat zuerst die allgemeine Aufmerksamkeit auf die Terrassen gelenkt. Heim und sein Schüler Bodmer haben dann dieses Phänomen genauer verfolgt. Nach den Anschauungen dieser Autoren sind die Erscheinungen und ihre Erklärung folgende: Talstufen und Terrassen stehen in innigem Zusammenhang in der Weise, daß eine Terrasse, wenn man sie nach rückwärts verfolgt, schließlich in eine Talstufe übergeht. Talstufen und Terrassen müssen demnach ihre Entstehung einem und demselben Vorgang ver-

danken. Wenn man die Niveau-Verhältnisse einer Terrasse und der ihr entsprechenden Talstufe vergleicht, so findet man, daß Talstufe und korrespondierende Terrasse kontinuirlich nach einer Talsohle nach außen geneigt sind. Deshalb sind Talstufe und entsprechende Terrasse als Reste eines früheren, höheren Talbodens aufzufassen, welche bei der Talvertiefung unversehrt erhalten blieben. Die Ausgrabung der Täler begann mit der Hebung der Alpen, doch erfolgte diese nicht ununterbrochen, sie machte Pausen. In diesen Pausen konnte das Talsystem den Zustand der Reife erreichen, d. h. die Täler vertieften sich nicht mehr, sie verbreiterten sich nur noch, das Flußgefälle glich sich aus. Plötzlich begann die Hebung von neuem; die Flüsse schnitten mit frischer Kraft in die breiten Talböden der greisenhaften Täler ein. Die Erosion machte sich besonders scharf im untersten Abschnitt der Täler geltend und schritt dann von außen nach innen weiter. Soweit also die neue Erosion von außen nach innen gegriffen hatte, so weit reicht der dieser Phase entsprechende neue Talboden. Dann folgt eine Stufe und auf derselben der Talboden der früheren Phase."

Nach diesem Autor kann es keinem Zweifel unterliegen, daß der Grundgedanke einer solchen Auffassung richtig ist. Da die Talbildung zugleich mit der Erhebung der alpinen Scholle über das Meeresniveau beginnen mußte, ist ein anderer Vorgang kaum denkbar. Auch kann man sich noch gegenwärtig durch Augenschein von dem Vorgange überzeugen, wie die Talstufe einen frischen Erosionsgraben in den Talboden einschneidet und so diesen in zwei Terrassen zerteilt, wie z. B. die Reuß oberhalb Amsteg.

Die Wassererosion schafft Täler mit regelmäßigem Gefälle. Wenn ein Tal nun gestuft ist, und das ist sozusagen bei allen Alpentälern der Fall, so muß diese Stufung nicht ein Werk des Wassers, sondern der Gletscher sein, die während der verschiedenen diluvialen Eiszeiten alle Alpentäler bis zur Mündung ins Mittelland erfüllten. Der Schweizer Geologe Baltzer hat nun zuerst die Ansicht entwickelt, daß jede Talstufe einem Halt im Rückzuge der Gletscher entspreche. Soweit der Gletscher das Tal ausfüllte, schützte er den Talboden vor Erosion, während seine Schmelzwässer von seinem Ende an um so kräftiger erodieren konnten. Wie wir an den heute noch bestehenden Gletschern sehen können, ist ja die Erosionskraft des Gletscherbaches bedeutend größer als diejenige des Gletschers. Dadurch mußte da, wo die Gletscher bei ihrem Rückzuge sehr lange stationär blieben, ganz folgerichtig eine Talstufe sich ausbilden.

Entgegen dieser Annahme von Baltzer, der besonders Richter als schwerwiegendes Bedenken entgegenhielt, daß ja wie heute noch, so auch in der Vergangenheit die Gletscher beständigen Schwankungen in ihrer Länge ausgesetzt gewesen sein müssen, läßt der Österreicher Penck in seinem Werke ‚Die Alpen im Eiszeitalter' die Talstufen im Haupttale auf die nämliche Weise wie die Stufenmündungen der Seitentäler durch eine verstärkte glaziale Erosion entstehen. Er weist darauf hin, daß die Talstufen des Haupttales sich fast immer etwas oberhalb der Einmündung bedeutender Seitentäler ins Haupttal befinden. An dieser Stelle aber mußte die glaziale Erosion infolge plötzlicher Vermehrung der Gletschermasse des Haupttales durch die des Seitentales eine beträchtliche Steigerung erfahren.

Jedenfalls beruhen beide Annahmen auf richtigen Beobachtungen. Das eine Mal wird mehr die letztere, ein anderes Mal wieder mehr die erstere Ursache bei der Bildung der so merkwürdigen, mit der gewöhnlichen Wassererosion durchaus nicht zu erklärenden Abstürze im Haupttal zur Geltung gekommen sein.

Als dann die Schneegrenze sich wieder hob, schwanden die Gletscher mehr und mehr und zogen sich in das Hochalpengebiet zurück, wo wir sie heute noch antreffen. Damit wurden aber die vorher von Gletschern erfüllten Täler wieder der Wassererosion ausgesetzt, welche die scharfen Vorsprünge darin beseitigte und die Talgehänge mit ihren verschiedenen Terrassen teilweise abtrug, mit einem Wort die Verhältnisse schuf, wie sie uns heute noch in den Alpentälern entgegentreten.

Da das feste Eis nicht wie das flüssige Wasser fadenförmig den Spalten und Rissen folgend sich zu Tal bewegt, sondern flächenförmig hinabgleitet, infolgedessen auch die Täler, durch welche es sich längere Zeit bewegt, weniger vertieft wie jenes, als hauptsächlich verbreitert, sehen wir in allen Gebirgen, deren Täler nicht bis in die Ausgänge, wie die Alpen, sondern nur in ihren oberen Abschnitten Gletscher trugen, wie Vogesen und Schwarzwald, dementsprechend einen überaus merkwürdigen Unterschied in der Gestaltung des Ober- und Unterlaufes. Der Oberlauf ist, soweit sich die Gletscher der letzten Eiszeit darin erstreckten, trogartig erweitert, während der Unterlauf da, wo nur noch das abfließende Schmelzwasser sich einsägte, schluchtartig schmal ist. Wir erinnern nur als unsere nächsten Nachbarn, an das Werra- und Albtal. Dieselben Verhältnisse finden wir natürlich auch im Jura, wo wir beispielsweise die im Oberlaufe breiten Täler des Val de Ruz und Val de Travers haben, die sich durch einen schluchtartigen Unterlauf ihrer Flüsse, des

Seyon und der Areuse, auszeichnen. Aus jedem solchen Gebirge ließen sich zahllose andere Beispiele hinzufügen.

In den höheren Gebirgen liegen die Talanfänge in einer Höhenzone reichlicher Niederschläge weit über der oberen Waldgrenze. Sehr oft sind sie von Gletschern ausgefüllt. In gletscherfreien Gebirgen liegen sie in der schuttreichen Firnfleckenzone, wenigstens in der Nähe der Firn-

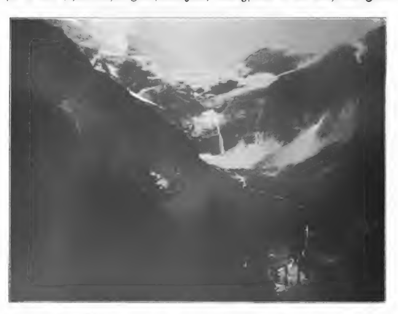


Fig. 180. Das Käfertal in den Hohen Tauern als Typus eines Kars oder wannenartigen Talabschlusses. Oben das Bockkarkees mit seinem über die Felswand abstürzenden Abfluß, dem Bockkarbach, der sich durch das breite, vom Gletscher ausgeschliffene Trogtal windet. In der Mitte des Bildes Andeutung einer Terrasse an der rechten Talseite. Nach Photogramm von Würthle & Sohn.

grenze. Sind sie kesselartig vertieft in ein Bergmassiv eingeschnitten, so bezeichnet man sie als Kare. Mit diesem einer keltischen Wurzel, die Hohlraum oder Kessel bedeutet, entsprungenen Worte bezeichnet man in deutschen Gebirgsgegenden, z. B. am Wendelstein, jede kesselförmige Vertiefung im Berge, indem man von einer so gelegenen Alp sagt, sie liege im Kar. Diese Kare, die im großen sich zu imposanten Talzirkussen entwickeln können, wie wir einen solchen beispielsweise bei

Digitized by Google

Gavarnie in den Pyrenäen oder in der beigegebenen Abbildung des Käfertales in den Tauern bewundern, **sind stets die Folgezustände von langer Gletscherbedeckung.** In der Sohle eines solchen Talanfanges sammelt sich der Firn und bewahrt den Untergrund vor Verwitterung. Daher schleift der sich aus dem Firn entwickelnde Gletscher den Talanfang zu einer trogartigen Mulde aus, und zwar werden die

Fig. 181. Der Weißsee am Sonnblick (3087 m) in den Hohen Tauern als Typus eines Karsees. Oben das Sonnblickkees (Gletscher), im Vordergrund die Rudolfhütte. (Nach Photogramm von Würthle & Sohn.)

der Hinterwand nahen Partien entsprechend der ursprünglichen Standfläche des Schneekegels in stärkerer Weise als die vorderen abgeschliffen. Infolgedessen wird der Karboden immer weniger nach außen geneigt, später sogar wagerecht und schließlich gar beckenförmig, während die der Verwitterung stark ausgesetzten, weil niemals wegen ihrer Steilheit Schnee tragenden Karwände durch Verwitterung stark abbröckeln und so die Schüssel vergrößern. Diese wannenartigen Talabschlüsse bergen in den Karmulden oft kleine Seen, die sogenannten **Karseen**, deren die meist hochromantische Umgebung widerspiegelnden stillen Wasser das

Auge des durch lauter Stein und Schutt wandernden Hochgebirgstouristen erfreuen. Ein solcher, durch seine wunderbare Lage ausgezeichneter Karsee ist beispielsweise der Murgsee im Kanton Glarus in der Schweiz und der in der beigegebenen Abbildung dargestellte Weißsee am Sonnblick.

Andere Seen, welche in Hochtälern gefunden werden, sind dadurch entstanden, daß im Hintergrunde ihres Tales die Gehängegletscher radienartig zusammenstießen und so in ihrem Vereinigungspunkte auf dem Talboden eine stärkere ausschleifende Wirkung ausübten. Auf diese Weise sind beispielsweise der Oeschinen-, der Engstlen- und der Lucendrosee entstanden. Kare, die noch vergletschert sind, bezeichnet man als aktive, die durch Höherrücken der Firngrenze nicht mehr vergletscherten dagegen als inaktive Kare.

Überall, wo Gebirge sich emporfalten und damit dem fließenden Wasser durch Erhöhung des Gefälles eine größere erodierende Energie verleihen, schneiden sich Täler in das Gebirge ein. Dabei können Flußläufe sehr wohl älter sein als das Gebirge, das sie durchschneiden, indem sie schon vor der Aufrichtung des letzteren vorhanden waren und dieser entgegen sich ihren alten Lauf zu wahren wußten. Solche Flüsse sind beispielsweise in Europa der die Karpathen durchschneidende Poprad, der den thessalischen Olympos durchsetzende Salamvriasfluß, welcher das durch seine Naturschönheiten berühmte Tempetal geschaffen hat, und in Nordamerika der die vielen Faltungen des Alleghanygebirges durchquerende Susquehanna. In der Regel wird aber die Faltung rascher vor sich gegangen sein als die Flußerosion, die damit nicht Schritt halten konnte. Dadurch wurde der betreffende Fluß entweder aufgedämmt, so daß ein See entstand, oder noch häufiger nur seitlich abgelenkt.

So sehen wir heute noch wie zu allen Zeiten einen beständigen Kampf der Täler gegen das Gebirge, dessen Wasser sie ableiten, und unter einander vor sich gehen. Dabei sind die älteren, weil ursprünglicheren Täler, die Längstäler, die zwischen den Falten des Gebirges verlaufen, stets den jüngeren Quertälern gegenüber im Nachteil. Indem in ihnen die Flüsse mit geringem Gefälle fließen und deshalb wenig erodieren, ja teilweise mehr ablagern als sie fortführen, können Flüsse in Quertälern, die wegen der Kürze der letzteren meist ein starkes Gefälle haben und sich infolge dessen nicht nur schneller eingraben, sondern sich auch viel energischer nach rückwärts verlängern, nicht selten diejenigen der Längstäler in der Weise überflügeln, daß sie dieselben bei ihrem Rückwärtsgreifen anzapfen und in sich ableiten. So hat sich einst das Rhonetal, bevor

es sich so tief wie heute in die Gebirgsmasse eingeschnitten hatte, über den Col de Balme nach Chamounix erstreckt, bis ein sehr energisch sein Bett einfressender Wildbach der Berneralpen das Rhonetal anzapfte und so die Rhone durch ein Quertal nach dem Genfersee ableitete. So wird

Fig. 182. Die Kitzlochklamm, von der Rauriserache in den Hohen Tauern in vier Absätzen über 100 m tief in mesozoische Kalke eingeschnitten. Die zahlreichen Wasserfälle zeigen, daß die Klammbildung noch nicht beendet ist. (Nach Photogramm von Würthle & Sohn.

uns der merkwürdige rechte Winkel des Rhonelaufs bei Martigny sehr wohl verständlich. Dadurch, daß einst in ähnlicher Weise das linke Rheintal durch einen nach dem Walensee abfließenden Wildbach angeschnitten wurde, wobei allerdings der Fluß selbst nicht abgeleitet zu werden vermochte, ist auch die merkwürdige Talgabelung bei Sargans entstanden.

durch welche man ganz eben aus dem Churer Rheintal entweder in das St. Galler Rheintal oder in das Tal des Walensees gelangen kann.

In der bereits erwähnten Arbeit über das alpine Relief sagt S. Blumer bei der Besprechung solcher Flußverlegungen: „Überhaupt findet zwischen allen Tälern ein Wettkampf um die Dränierung eines Flecks Erde statt. Diejenigen Täler, welche auf dem kürzesten Wege den Erosions-Nullpunkt, d. h. das Meer, einen See oder ein Haupttal erreichen, überwältigen ihre Nachbarn in der Weise, daß ihre Seitenbäche die Nachbartäler anschneiden und den betreffenden Talfluß in sich aufnehmen. Besonders zahlreich und augenfällig sind die Flußverlegungen in Graubünden. Nach Heim ist das Tal der Lenzerheide die ursprüngliche Fortsetzung des Oberhalbsteins. Ein rechter Nebenfluß des Hinterrheins fiel diesem damals in weit höherem Niveau liegenden Tal in die Flanke und leitete den Oberhalbsteiner Rhein durch eine Schlucht, den Schyn, zum Hinterrhein hinaus. Das Tal unterhalb der Anzapfungsstelle wurde so trocken gelegt und blieb vor einer weiteren Vertiefung bewahrt, während das Tal oberhalb der Anzapfungsstelle sich weiter entwickeln konnte. — Ebenso ist nach Heim das Vättiser-Tal ein verlorenes Stück Hinterrheintal. Das Davoser Landwasser empfing einst die Wasser des oberen Prättigaus, die Aare floß wahrscheinlich einmal über den Brünig, die Saane ins Simmental.

Besonders begünstigt in diesem Konkurrenzkampfe sind die Flüsse der Süd-Abdachung der Alpen, die, weil sie das Niveau des Meeres in weit kürzerem Laufe erreichen, ein rasches Gefälle haben. Sie schreiten erobernd nach Norden und verkleinern das Einzugsgebiet der nach Norden fließenden Alpenflüsse mehr und mehr. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß Reuß, Mittelrhein, Hinterrhein einst viel weiter nach Süden gegriffen haben. Gotthard, Lukmanier, Bernhardin, Splügen sind nichts anderes als erhalten gebliebene Reste dieser alten Talböden, deren oberster Teil von Tessin, Blegno, Moesa, Liro amputiert worden ist. — Sicher ist auch, daß das Engadin einst über die Maloja hinaus weiter nach Westen reichte, bis ihm die Meira die Quellbäche (im Val Marozzo) abschnitt und deren Wasser zum Comersee abführte. Am erfolgreichsten im Kampfe um neue Einzugsgebiete war entschieden der Tessin mit seinen Nebenflüssen. Er hat am stärksten die Wasserscheide nach Norden gedrängt und in den Alpenkörper die größte Bresche gelegt."

Aus allen Teilen der Alpen ließen sich eine Menge ähnlicher Flußverlegungen aufführen. Sie alle zeugen von den durch die unermüdliche Arbeit des Wassers beständig vor sich gehenden Veränderungen

im Antlitz der Erde. Je niederschlagsreicher und flußreicher ein Gebiet ist, um so größere und tiefere Täler besitzt es. In der gemäßigten Zone hat stets die Regenseite zahlreichere und tiefere Täler. Je trockener ein Land ist, um so weniger sind dementsprechend die Talnetze in ihm ausgebildet. Hinter dem tiefdurchtalten und von gewaltigen Schluchten durchzogenen Himalaya liegt das niederschlagsarme und infolgedessen sehr wenig gegliederte Hochland von Tibet. Von wasserreichen hohen Gebirgen abfließende Flüsse schneiden sich dann vermöge ihres meist starken Gefälles sehr tiefe Schluchten ein, die man gewöhnlich mit einem spanischen Worte als Canjons bezeichnet. So hat sich in Labrador der 96 m hoch herabstürzende Fall des Grand River einen 40 km langen, 120 m tiefen Canjon in Gneis eingeschnitten, wie auch der Niagara und der Sambesi sich ähnlich tiefe Flußbetten eingegraben haben. Besonders bekannt dafür ist der Große Canjon des Rio Colorado in Nordamerika, der sich ein Bett durch das Tafelland von Arizona einschnitt, indem er durch die reichen, während der Eiszeiten abzuleitenden Niederschläge in seiner Erosionstätigkeit stark begünstigt, eine über 300 km lange, oben durchschnittlich 18 km breite und bis 2000 m tiefe Schlucht in das teils vollständig wüste und vegetationslose, teils aber von Wäldern bedeckte flache oder doch nur wenig wellige Tafelland aushöhlte, wozu er, wie leicht einzusehen ist, eines ungeheuren Zeitraums bedurfte. In ihr finden wir zu oberst ältere teriäre, darunter mesozoische und permische Ablagerungen in einer Anzahl mächtiger, in gewaltigen Abstürzen sich aufbauender Terrassen zerschnitten. Dann kommen Kohlenkalke, in die der eigentliche Canjon eingeschnitten ist, weiter unten Silur und zu unterst Granit. Vom Beginn des Pliocäns an hat sich der Fluß in die horizontal geschichteten Sedimente eingefressen und diese Leistung im Laufe von wenigstens 2 Millionen Jahren hervorgebracht, während welcher das von ihm durch-

Fig. 183. Großer Canjon des Rio Colorado in Nordamerika als eine durch Wassererosion in horizontal geschichtete Felsen eingegrabene tiefe Schlucht.

Digitized by Google

schnittene Tafelland im ganzen ebenso wasserlos wie heute gewesen sein muß, sonst hätten sich eine Menge tiefeinschneidender Nebentäler in das Haupttal eingegraben, was nicht der Fall ist. Diese uns ganz ungeheuer lang scheinende Zeit ist von erdgeschichtlichem Standpunkte aus beurteilt eine so geringe, daß sich seither beispielsweise noch nicht die Hälfte der Meeresmollusken in neue Arten abgespalten haben.

Durch Schuttmassen, welche von den Felswänden abstürzen, können gelegentlich Flußläufe verlegt und überhaupt stark abgeändert werden. So haben besonders die großen Schuttmassen, welche die Gletscher der Eiszeit über die ehemals vereisten Gebiete ausstreuten, die Flußläufe stark verändert. Im gleichen Sinne können gelegentlich auch, doch im ganzen in seltenen Fällen vulkanische Ergüsse wirken.

Fig. 184. Blick in die durch den Coloradofluß in Nordamerika durch wagrechte Sedimentschichten eingeschnittene tiefe Schlucht.

In seinem Oberlauf, wo der Fluß das stärkste Gefälle hat, erodiert er nur, — da finden wir das erste Talstadium. In seinem Mittellauf hört die Erosion beinahe auf, da transportiert er nur sein Geschiebe. Doch ist sein Lauf noch zu stark, als daß es hier schon zu einer Ablagerung desselben kommen könnte. Das bezeichnen wir als das zweite Talstadium. In seinem Unterlaufe endlich lagert er ausschließlich ab. Das ist das dritte Talstadium. So ist beispielsweise das Reußtal in der Schöllenen oberhalb Göschenen im ersten Stadium der Talbildung, indem dort die Reuß gegenwärtig noch ihr Bett stark vertieft. Erst von Erstfeld ab vermindert sich ihr Gefälle so stark, daß sie dort Schutt ablagert, die Talbildung also das dritte Stadium erreicht. Zwischen Göschenen und Erstfeld dagegen schneidet sich der Fluß noch stellenweise ein, stellenweise läßt er aber schon geringe Mengen von Geschiebe liegen; dort finden wir das zweite Stadium der Talbildung entwickelt. Dabei verschieben Schwankungen der Wassermenge beständig die Grenzen der einzelnen Abschnitte. So macht sich beispielsweise bei Hochwasser die

Digitized by Google

Erosionswirkung bis weit talabwärts noch geltend, wo sonst der Fluß für gewöhnlich Geschiebe abzulagern pflegt.

Das beste Kennzeichen eines noch unfertigen Tales ist das Auftreten von **Wasserfällen**, in welchen sich der Bach oder Fluß über eine mehr oder weniger große Terrainstufe herunterstürzt, deren völlige Durchsägung noch nicht gelungen ist. An diesen Stellen, wo die Wassermasse senkrecht, also mit dem größtmöglichen Gefälle in die Tiefe stürzt, findet durch den Aufprall der mit Geschiebe aller Art, von großen Steinen bis zu feinem Sand, beladenen Wassermassen eine sehr energische Erosion des Flußbettes statt. Besonders stark wird naturgemäß die Basis des Absturzes da unterwaschen, wo das Wasser die größte Fallkraft entwickelt, sodaß der vorderste Teil der Gesteinsmassen, über welche der Fluß hinunterstürzt, beständig nachgeben muß und einstürzt. Infolgedessen, wandert jeder Wasserfall beständig talaufwärts und verliert dabei gleichzeitig an Höhe bis er zu einer unbedeutenden Stromschnelle geworden und zuletzt, wenn die Niveauunterschiede der Fallstufe ausgeglichen sind, ganz verschwunden ist.

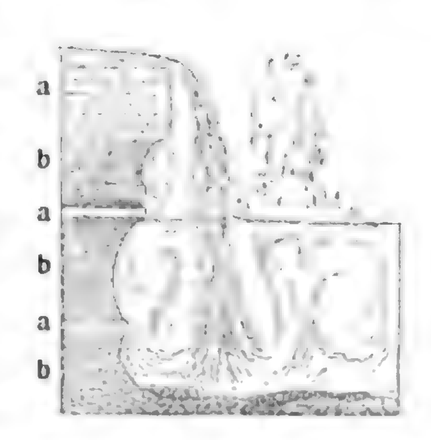


Fig. 185. Schematische Darstellung des Niagarafalles: a harter Kalkstein, b weichere Schichten.

Das berühmteste Beispiel eines solchen Wasserfalles, der stets eine sehr junge Erscheinung im Leben eines Stromes darstellt, ist der **Niagara**, der Donner des Wassers, wie der indianische Name übersetzt lautet, in welchem die gewaltigen vom Erie- zum Ontariosee abfließenden Wassermassen, durchschnittlich 425000 cbm in der Minute, über eine 48 m hohe, senkrechte Stufe herabstürzen, die aus horizontal geschichteten Bänken obersilurischer Ablagerungen besteht. Die Kante des Wasserfalles und der obere Teil der Wand bestehen aus einer 26 m mächtigen Lage harten Kalkes, die tieferen Partien dagegen aus sehr viel weicheren Schiefern und Sandsteinen, zwischen welchen zwei kleinere Kalkbänke verlaufen. (S. Fig. 185.) Unter diesen Verhältnissen kann natürlich die ein beständiges Einstürzen verursachende Unterwaschung sehr leicht und regelmäßig vor sich gehen. So hat man durch sorgfältige Messungen durch viele Jahrzehnte festgestellt, daß der Niagara um etwa 82 cm im Jahre zurückweicht. Da die Sedimente dort eine geringe Neigung nach dem Innern des Festlandes aufweisen, sinkt damit gleichzeitig auch das Flußbett ein wenig und damit erniedrigt sich auch der Eriesee.

Der heute, wie gesagt, 48 m hohe Wasserfall, der eine Energie von 750000 Pferdekräften entwickelt und sich eine 57 m tiefe Höhlung an seinem Fuße ausgegraben hat, war in der ersten Zeit, als der Auslauf 10 km näher beim Ontariosee lag, beinahe doppelt so hoch, und man hat berechnet, daß etwa 28000 Jahre vergangen sein mögen, seit die durch die Landerhebungen im Norden nach Süden abgeleiteten Wasser der kanadischen Oberen Seen sich ein neues Flußbett auszuhöhlen begannen. In etwa 45000 Jahren wird der Fall vollkommen an den Eriesee zurückgetreten und damit ein Ausgleich zustande gekommen sein.

Mehr als doppelt so hoch sind die **Viktoriafälle des Sambesi** in Afrika, von den Umwohnern Mosiwatunja d. h. rauchendes Wasser genannt. In ihnen stürzt der mächtige Strom in einem 1808 m breiten und 119 m tiefen Falle in einen engen Abgrund von nur 44 bis 100 m Breite, aus dem er in einer zickzackförmigen Schlucht weiterfließt. Diese letztere wurde bisher auf ein System von Spalten zurückgeführt, doch hat neuerdings A. Penck überzeugende Beweise für ihren Ursprung durch fließendes Wasser herbeizuführen vermocht. Sie ist ausschließlich vom Strome eingesägt worden, der eben seinen Absturz immer weiter aufwärts verlegt. Der Zurückgang dieses Falles beträgt nach demselben Autor seitdem Menschen in Südafrika wohnen mindestens 10 km, wie aus Funden von uralten Steinwerkzeugen im Flußgerölle hervorgeht, das der Sambesi auf den öden Hochflächen, die ihn beidseitig einfassen, zurückgelassen hat. Aber auch dieser Wasserfall soll jetzt der Industrie dienstbar gemacht werden. Bereits ist über die sich daran anschließende Schlucht durch englische Ingenieure eine in gewaltigem Bogen die tosenden Wasser überspannende Eisenbahnbrücke aus Stahl gelegt worden und schnaubend fährt das Dampfroß schon wenige Jahrzehnte nach dessen Entdeckung vor dem mitten in der zentralafrikanischen Wildnis gelegenen Naturwunder vorbei.

Der im Oberlauf sein Bett immer tiefer einschneidende Fluß behält im Mittellauf, wo er nur Geröll transportiert, sein Niveau bei, aber im Unterlauf erhöht er durch stete Ablagerung seiner Geschiebe beständig sein Bett. Wie ausgiebig dies geschehen kann, zeigen uns jene nicht seltenen Fälle, in welchen der Fluß mitten in einer ganz flachen Ebene sich ein wallartig erhabenes Bett aufgeführt hat. Ein bekanntes Beispiel dieser Art ist der Po, dessen mächtige Gerölluser aus der umgebenden Niederung sich emporbauen und dessen Spiegel fast 1 m höher liegt als das umgebende Land. Durch diese stetige Auffüllung seines Bettes im Unterlauf ist deshalb der Fluß gezwungen, sein Bett in einem fort zu

Die Viktoriafälle des Zambesi in Südafrika.

Digitized by Google

verändern. So entsteht eine **Aufschüttungsebene** im Unterlauf eines jeden Flusses. Um nun dessen Abfluß hier zu beschleunigen, ihm ein geregeltes Bett zu geben und gleichzeitig die Umgebung vor Überschwemmungen bei Hochwasser möglichst zu schützen, hat man in den Kulturländern die Flüsse durch Uferbauten eingeengt und Dämme gegen das Hochwasser um sie gebaut. Je gestreckter nun der Lauf gemacht wird und je mehr seine Windungen abgeschnitten werden, um so größer wird natürlich das Gefälle und um so mehr wird das Wasser des Flusses gezwungen, sein Geschiebe weiter zu tragen. Dadurch erhöht sich das Flußbett nicht nur viel langsamer, sondern es wird gleichzeitig bei Hoch-

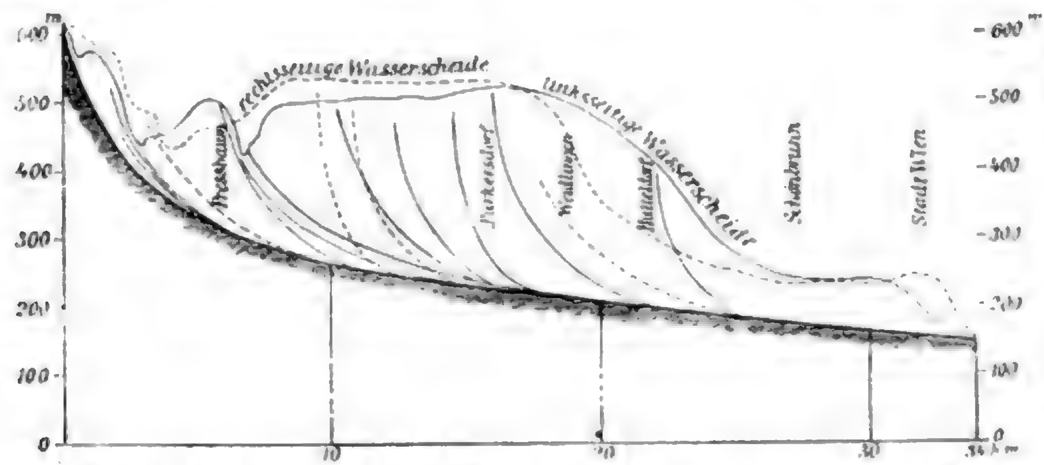


Fig. 186. **Gefällskurve des bei Wien in die Donau mündenden Wienflusses** und seiner Zuflüsse (nach A. Penck).

wasser durch die bedeutend erhöhte Geschwindigkeit des Ablaufes von selbst wieder von den bei Niederwasser abgelagerten Anschwemmungen befreit und dadurch entsprechend tiefer gelegt.

Zum besseren Verständnis der Arbeit des fließenden Wassers ist es wichtig zu wissen, daß bei **verdoppelter Geschwindigkeit die Transportfähigkeit eines Flusses in der sechsten Potenz gesteigert wird.** Dementsprechend nimmt die erodierende Kraft und die Masse der Gerölle zu. So können winzige Flüßchen, die in gewöhnlicher Zeit höchstens Sand und Schlamm zu transportieren vermögen, bei Hochwasser mit Leichtigkeit eine 3 m hohe Geröllschicht mitschleppen, deren einzelne Stücke unter einander und am Grunde des Bettes abgeschliffen werden und uns dann schließlich als glatte Kiesel entgegentreten.

Zur Klarlegung der mit der Beschleunigung der Strömung zunehmenden Transportfähigkeit des Wassers hat **Stephenson** auf eingehende Versuche basiert folgende Tabelle aufgestellt:

Weg des Wassers in einer Sekunde	Weg des Wassers in einer Stunde	Transportfähigkeit des Wassers bei der angegebenen Beschleunigung
90 cm	3,24 km	schwemmt eigroße, eckige Steine am Boden mit,
60 „	2,16 „	führt Gerölle von 1,5 cm Durchmesser am Boden mit,
30 „	1,08 „	führt ganz feinen Kies,
20 „	0,72 „	führt Sandkörner so groß wie Leinsamen,
15 „	0,54 „	führt den feinsten Sand,
7,5 „	0,27 „	fängt eben an den feinsten Schlamm aufzuwühlen.

So sind die größten Gerölle im Rhein bei Basel 25 kg schwer, bei Breisach dagegen nur 2 kg, bei Offenburg 1 kg und bei Mannheim bloß noch 1/10 kg schwer, d. h. die größten Flußgeschiebe sind dort nur noch haselnußgroß. Je stärker mit den Jahreszeiten die Wassermenge schwankt, um so wechselnder sind die Schlamm- und Geröllmengen, die sie verfrachtet. So führt begreiflicherweise ein Gebirgsfluß zur Zeit der Schneeschmelze infolge seines erhöhten Wasserstandes viel mehr Schlamm und Gerölle mit sich als im Winter, wo der Wasserstand wegen der großen Kälte am niedrigsten ist. So hat Baëff berechnet, daß die Arve, der bekannte von Chamounix am Fuße des Mont Blanc herströmende Fluß, der unterhalb von Genf in die Rhone mündet, im Winter nur 2—10 g im cbm, zur Zeit der Schneeschmelze aber mehr als das Hundertfache davon an Schlamm mit sich führt, ja einmal bei Hochwasser auf 5 kg im cbm stieg. Dabei wurde das an der Sohle des Flusses mitgeschleppte grobe Gerölle, dessen Menge naturgemäß schwer zu bestimmen ist, nicht mitgerechnet.

Wer einen ruhig strömenden Fluß, wie etwa den Rhein oberhalb von Basel, geräuschlos hinabfährt, der hört ganz deutlich in der Stille der Flußmitte das gleichförmig dumpfe summende Geräusch, das von den unzähligen aneinanderschlagenden und übereinandergeschobenen Geröllen herrührt, die am Boden des Flusses als ein beständig abwärts treibender Schuttstrom dahingleiten.

Wo am Fuße von hohen Gebirgen das Gefälle der Flüsse sich rasch vermindert, sind die Bedingungen für die Geröllablagerungen am günstigsten. Jedem Reisenden sind die gewaltigen Kiesaufschüttungen der Alpenströme im umgebenden Vorlande bekannt. Besonders die Hochwasser bringen diese mit sich und überfluten damit weite Strecken,

die sie dadurch in unfruchtbare Kiesebenen verwandeln. So hat infolge der zunehmenden Entwaldung die Haute-Provence vom 15. bis 18. Jahrhundert die Hälfte ihres Kulturlandes eingebüßt, das unter einer Decke

Fig. 187. Die sogenannten „Salzach-Öfen“ bei Golling oberhalb Salzburg. „Öfen“ ist der bergmännische Ausdruck für Durchschläge, die man in den Salzbergwerken anbringt, um durch sie das Süßwasser zur Auslaugung des Salzes zur Gewinnung der Soole einzuleiten. Das verhältnismäßig ruhige Fließen der Salzach zeigt, daß die Klammbildung im letzten Stadium angelangt ist, in welchem sich besonders auch Strudellöcher ausbilden können.
Nach Photogramm von Würthle & Sohn.

darübergeschwemmter weißer Kalkgerölle begraben liegt. Von ihm schreibt Surell: „Der Anblick dieses elenden Landes zieht das Herz zusammen. Man möchte es getötet nennen. Die bleiche gleichmäßige

Digitized by Google

Farbe des Bodens, die Stille, die über ihm brütet, die abschreckenden Bergwände: alles scheint eine Gegend anzudeuten, aus welcher das Leben im Begriff ist, sich zurückzuziehen."

„Jeder Fluß", sagt Ratzel in seinem bereits zitierten Werke, „empfängt von seinen verschiedenen Zuflüssen verschiedene Stoffe, die in die Summe seiner Ablagerungen eingehen, vorher aber nicht selten die zwei Zuflußseiten des Tales räumlich und stofflich beeinflussen. Die Isar liegt ganz in den Kalkalpen, daher besteht ihr Geschiebe bei München zu 95 Prozent aus nordalpinen Kalksteinen; da sie aber auch eiszeitliche Moränen bespült, führt sie immer auch einige Gesteinstrümmer, die aus den Zentralalpen stammen. Der Po schwankt zwischen den alpinen Zuflüssen, die teilweise in Seen sich geläutert haben, und den voll Ton- und Mergelschutt vom Nordapennin herabstürzenden Zuflüssen in seinem östlichen Laufe. Bis zur Sesia haben die Alpenzuflüsse das Übergewicht, der Tanaro drängt nach Norden, der Tessin wieder nach Süden, die zahlreichen Apenninzuflüsse von der Trebbia an wieder nach nach Norden. Es gibt Gesteine, die leicht zerrieben und transportiert werden, und andere, die sich für längere Dauer ablagern und die Flußläufe für lange bestimmen. Die Zuflüsse der Salzach bringen im Obersulzbachtale von links leichtzerbröckelndes Schiefergestein, das der gefällsarme Fluß zu zerreiben und fortzuschaffen vermag. Aber von rechts oder Süden kommen harte Gneise, Granite, Hornblende in großen Blöcken, die das Tal auffüllen und erhöhen. Die Wildbachverbauung sieht nach der Regulierung in der Fernhaltung dieser Geschiebe ihre erste Aufgabe. Auch in den kleineren Verhältnissen des höchstens 60 qkm bedeckenden Chiemseedeltas bewirkt der Unterschied der sterilen Dolomitgerölle der Prien und der aus den Urgebirgen Tirols kommenden fruchtbareren Schwemmstoffe der Achen einen großen Unterschied, der sich sogar in der Besiedelung der beiden Deltas ausprägt."

Von den mitgeführten Schuttstoffen bilden sich oft langgestreckte Inseln im Strome, die langsam flußabwärts wandern. Auch in geregelten Flußläufen bilden sich beständig neue Kies- und Sandbänke; bald lösen sie sich wieder auf und wandern langsam von einem Ufer zum andern. In nicht gerade gelegten Flüssen, die sich schlangengleich in zahllosen Biegungen durch ein Land winden, bilden sich solche Schwemminseln besonders an den Innenseiten der Bogen, da wo die Strömung am langsamsten ist. Dagegen wird die gegenüberliegende Stoßseite, gegen welche die Strömung gerichtet ist, untergraben. Dadurch werden die Bogen stets größer und der Fluß immer mehr

schlängelnd. So kommt er allmählich dazu, in der von ihm nach und nach aufgeschütteten Ebene sich in einer Schlangenlinie, in sogenannten Mäandern zu bewegen. Bei Überschwemmungen aber vermag das Wasser vermöge seiner starken Strömung oft den kürzesten Weg zwischen den beiden Enden eines Bogens zu finden und gräbt sich dabei mit seinem Geschiebe einen Kanal aus. Der alte Flußlauf wird dann bald in der Nähe des Stromes eingesandet, sodaß von dem früheren Flußbogen ein hufeisenförmiger See als sogenanntes **Altwasser** übrigbleibt. Zu Hochwasserzeiten werden diese häufig ganz mit Sand zugeschüttet und verlieren dadurch ihr Wasser; als solche bezeichnet man sie dann als **Wagrame**.

Fig. 188. An der Innenseite eines Flußbogens bei a Ablagerung einer Kies- und Sandbank, bei b die untergrabene Stoßseite.

In größeren Flüssen, die durch Waldgebiete fließen, werden oft durch entwurzelte und herabgeschwemmte Bäume, deren sperrige Zweige sich an seichteren Stellen einhaken, weiteres Treibholz gesammelt und daraus **Inseln** gebildet, auf denen oft eine angeschwemmte reiche junge Vegetation gedeiht. Bei Hochwasser können sie gelegentlich wieder ins Schwimmen geraten; häufig werden sie aber durch Bäume, welche durch sie hindurch ihre Wurzeln in den Grund des Flusses senken, verankert und so festgemacht. Im Mississippi besonders sind solche bewachsene Schwemminseln häufig, die hauptsächlich durch die mit starken Pfahlwurzeln versehenen Sumpfzypressen festgehalten werden. In den afrikanischen Flüssen, im Nil und Kongo, sind es die bis zu 10 m langen korkartig leichten Stämme eines als Ambatsch bezeichneten Schmetterlingsblütlers, welche im Verein mit m ebenfalls rasch wachsenden Papyrus geradezu **Pflanzenbarrieren** durch den Strom errichten. An solchen Pflanzenbarren, die für die Schiffahrt im höchsten Maße hinderlich

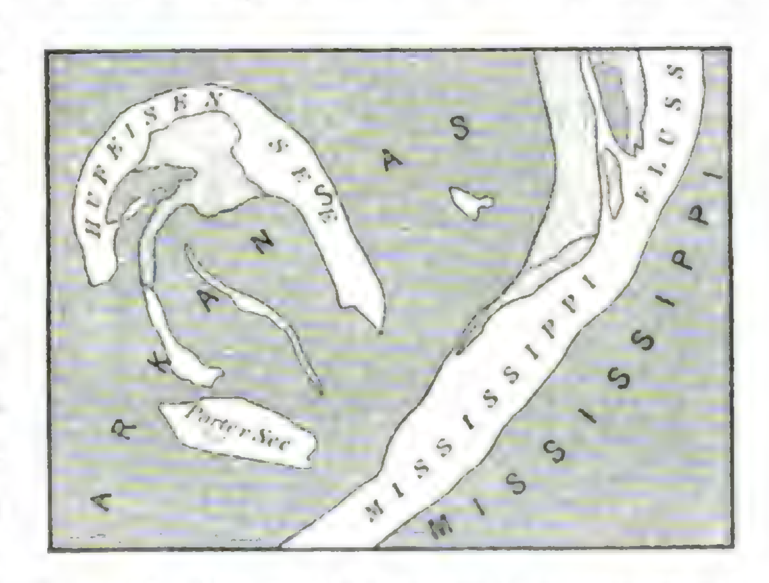


Fig. 189. Der **Hufeisen-** und **Portersee** als Typus von Altwässern, die in abgeschnittenen Flußarmen zurückblieben.

sind, beteiligen sich dann auch Muscheln der Gattung Etheria, indem sie sich in großen Mengen an die Vegetationsträger anheften.

Im allgemeinen wächst die Größe des Stromgebiets mit der Größe des Festlandes, das entwässert werden soll. Den längsten Wasserlauf der Erde bildet der Missouri mit dem Mississippi in einer Länge von 6600 km. Der Nil mißt von der Kageraquelle an 6000 km, der Yangtse dagegen 5950 km, der Amazonas 5800 km und der Kongo 4200 km. Nach Heim beträgt die Zeit, in welcher das von dem betreffenden Flusse entwässerte Landgebiet durchschnittlich um einen Meter abgetragen wird, für den Po 3600 Jahre, für die Reuß 4100 Jahre, für den Ganges 7900 Jahre, für den Mississippi 18000 Jahre, für den Rhein bis Bonn 30000 Jahre.

Springs schätzt die von der Maas durch die Stadt Lüttich geführte Menge fester Stoffe auf 362 Millionen kg im Jahre. Von diesen sind 22 Millionen organische, 238 Millionen suspendierte und 102 Millionen kg gelöste anorganische Stoffe. Die Donau führt jährlich 14300 Millionen kg feste Substanzen durch Wien. Dabei würde sie in 18000 Jahren ihr gesamtes Niederschlagsgebiet oberhalb Wien um einen Meter abtragen. Anderseits setzt sie mit den weggeführten Stoffen ein Delta an ihrer Mündung ab, wodurch die für die Schiffahrt wichtige 7 m-Tiefenlinie sich jährlich um etwa 100 bis 125 m nach außen verschiebt. So rückt das von vielen Stromarmen geteilte 25000 qkm umfassende Deltaland des Mississippi jährlich um 90 m in den mexikanischen Golf hinaus. Noch größer ist das Riesendelta von Ganges und Brahmaputra, das mit seiner Ausdehnung von 100000 qkm das größte der Welt ist. Nach den Berechnungen von Mellard Reade führen die drei großen chinesischen Flüsse genug Sediment mit sich, um in etwa 100000 Jahren das Gelbe Meer, in das sie sich ergießen, ganz auszufüllen.

Schneller als solche, wenn auch verhältnismäßig seichte Meeresarme werden Seen von dem Schutte der darein einmündenden Flüsse ausgefüllt und so zu Land gemacht.

Gerade die von der Eiszeit um die Alpen herum zurückgelassenen Seen verfallen diesem Schicksal bei einiger Kleinheit sehr leicht durch die große Zufuhr von Sinkstoffen, welche die in sie strömenden, stark erodierenden Flüsse ihnen aus dem nahen Gebirge zutragen. Diese bilden in ihnen mächtige Deltaablagerungen, die, wenn sie einen schmalen See von der Seite treffen, ihn in zwei gesonderte Becken abdämmen. So haben die Geschiebe der Lütschine von Süden her den östlichen Teil des Bödeli,

auf dem Interlaken steht, aufgebaut, während der von Norden kommende Lombach den westlichen Teil jenes Schwemmbodens ablagerte. So wurde seit der vor etwa 20000 Jahren zu Ende gegangenen letzten Eiszeit der früher zusammenhängende See durch zwei breite, nebeneinander zur Ablagerung gekommene Schuttdeltas in zwei Wasserbecken getrennt. Dabei ergießt sich heute die Lütschine, deren Wasser die elektrische Kraft für die Erstellung und den Betrieb der Jungfraubahn liefern, in den Brienzer- und der Lombach in den Thunersee, und beide arbeiten ununterbrochen an der Zuschüttung und Verkleinerung der Becken, in die sie sich ergießen.

An der gleichen Tätigkeit sehen wir auf dem beigegebenen Bilde den von dem schon von den alten Römern begangenen Julierpaß im Kanton Graubünden herabströmenden ganz unbedeutenden Bach, der das Schwemmdelta von Silvaplana aufgebaut hat und mit der Zeit den dortigen See auch in zwei getrennte Becken teilen wird. In derselben Weise ist der sehr viel größere Mezzolasee durch eine Deltabildung der Adda vom Comersee getrennt worden. Solcher Beispiele ließen sich eine ganze Menge anführen.

Fig. 190. Entstehung eines Deltas aus den Anschwemmungen, welche der vom Julierpaß herab kommende Bach in den See von Silvaplana im Oberengadin seit dem Schluß der letzten Eiszeit, d. h. in etwa 20000 Jahren infolge Aufhebung seines Gefälles ablagerte. Darauf steht das romanische Dorf Silvaplana mit seinen Wiesen und Äckern. In weiteren 10000 Jahren wird der See durch ihn in zwei Teile gespalten sein. Im Hintergrunde der durch Abschneiden des ehemaligen Oberlaufs des Inns entstandene breite Talanfang an der Maloja.

Sehr verschiedene Ursachen können zur Seenbildung führen. Manche dieser Wasseransammlungen sind auf tektonische Ursachen zurückzuführen. So sind beispielsweise das Tote Meer und die zentralafrikanischen Seen mit Wasser erfüllte Grabenversenkungen. Andere sind Einbruchseen in Einsturztrichtern, die wir als Dolinen im Karstgebiete kennen gelernt haben, oder noch häufiger über durch Auslaugung eingestürzten stein-

Digitized by Google

salzreichen Gebieten. Auf letztere Weise sind nach Keilhack vielleicht der Hallstädter- und Königssee entstanden. Uns will diese Annahme allerdings wenig wahrscheinlich erscheinen; den beide Seen liegen in durch Gletscherschliff übertieften Tälern, so daß diese Tatsache schon zur vollkommenen Erklärung ihrer Entstehung genügen dürfte. Noch andere sind durch eingestürzte Hohlräume über Lavaströme entstanden, wie die beiden größten der Insel, der Mücken- und Thingvallasee auf Island, in welchen man auf dem Grunde des äußerst klaren Wassers die wunderbar gekröseartig gedrehte und gewulstete Oberfläche der Lava, von zahlreichen beim Zusammenbruche erzeugte Spalten durchzogen, sieht.

Als Explosionsseen haben wir die mit Wasser erfüllten Maare der Eifel kennen gelernt. Zu ihnen sind auch die Seen zu rechnen, die sich in erloschenen vulkanischen Kratern angesammelt haben, wie z. B. der Albaner- und Nemisee in Italien. Dann gibt es Seen in unebenen Ablagerungen, die durch Bergstürze oder Gletscherschutt entstanden sind. Zu ersteren gehört beispielsweise der Flimsersee im Bergsturzgebiete von Flims im Kanton Graubünden, von dem wir erwähnt haben, daß er sich am Ende der letzten Eiszeit ereignet habe; zu letzteren dagegen sind die zahlreichen Seen auf der unebenen und undurchlässigen Oberfläche der alten Grundmoräne zu zählen, die das skandinavische Inlandeis nach seinem Rückzuge zu Ende der letzten Eiszeit zurückgelassen hat, wo wir nun die höckerige, von unzähligen seichten Seen erfüllte Landschaft der baltischen Seeplatte finden.

Weiter haben wir Abdämmungsseen, die dadurch entstehen, daß Bergstürze oder Schuttkegel, die von Flüssen, die aus Seitentälern in das Haupttal münden, bei der Abnahme des Gefälls dort abgelagert werden, oberhalb des gebildeten Walles gelegene Teile des Tales zu einem See abdämmen. Auch die Endmoränen der Gletscher, ausnahmsweise auch Seitenmoränen derselben, vermögen Stauseen zu bilden. So haben Seitenmoränen des Inngletschers 400 m über der jetzigen Talsohle den Achensee durch eine nur 5 m über den Seespiegel ragende Schwelle von losen Geröllen und Tonen abgedämmt, so daß sich die Wasser dieses Tales nicht mehr nach Süden in den Inn, sondern nach Norden in die Isar ergießen.

Beim Nachlassen der Eiszeit flossen die Schmelzwässer des skandinavischen Inlandeises durch tiefe, in Sande und Schottern eingeschnittene Täler von Südosten nach Nordwesten ab. Bei den häufigen Schwankungen des Eisrandes, die dadurch entstanden, daß der Gletscher zeitweise zurückwich, um dann wieder vorzustoßen, veränderten die Gletscherströme

häufig ihren Weg und schütteten Teile ihrer alten Betten wieder zu, wodurch geschlossene langgestreckte Hohlformen als wassergefüllte Rinnenseen oder Lanken zu Tausenden in Norddeutschland nach dem Verschwinden der Eiszeit entstunden.

Ihnen verwandt sind die Abgliederungsseen, als deren einfachste wir die von Flußbiegungen abgegliederten Teile als sogenannte Altwasser kennen gelernt haben. So können auch durch landbildende Kräfte Teile von Meerbusen oder von großen Süßwasserseen abgeschnürt werden, z. B. wenn die als Nehrungen bezeichneten geradlinigen, schmalen, parallel der Küste verlaufenden Landstreifen gewisse Buchten abschneiden und zu Lagunenseen Veranlassung geben, die in größerer Zahl an der Ostsee auftreten und nunmehr mit Süßwasser gefüllt sind. Mancherorts sind in Fjorden von den sie einst ausfüllenden und abschleifenden Gletschern der Eiszeit mächtige Endmoränen abgelagert worden, die bei nachträglicher Hebung des Landes durch ihre das Tal abschließenden Dämme längliche Binnenseen abschnürten. So sind in Schweden wie auch in Schottland zahlreiche längliche Seen in ehemaligen Fjorden abgegliedert worden. Gleicherweise sind in der Südsee durch Hebung von Atollen Atollseen entstanden.

Fig. 191. Der zugefrorene Tokheimsee beim Aufstieg zum Folgefonn in Norwegen als Typus eines durch Gletscherschliff ausgehobelten und gleichzeitig durch eine Stirnmoräne abgedämmten Seebeckens.

Endlich haben wir Ausräumungsseen, die alle ihr Vorhandensein der letztverflossenen Eiszeit verdanken. Die größeren derselben sind durch die stark den Untergrund ausschleifenden Gletscher entstanden. Diese vermochten ihre größte erodierende Kraft überall da zu entwickeln, wo sie aus einem steileren Gefälle in ein flacheres übergingen. Dadurch entstand in der harten Felsunterlage eine als zentrale Depression

Digitized by Google

bezeichnete beckenartige Vertiefung, die von einem hohen Endmoränengürtel umschlossen sehr zahlreiche Seen, so fast alle die in die Länge gestreckten Seen um den Fuß der Alpen, in Finnland, dem ‚Lande der Tausend Seen', in Lappland und in Kanada westlich vom Hudson erzeugt hat. In den ehemals vergletscherten Gebieten sind weiter Miniaturseechen in großer Zahl durch in Gletscherspalten abstürzende Schmelzwässer, die Strudellöcher in die Unterlage aushöhlten, entstanden. Die von einem mergeligen Glaziallehm bedeckten Gebiete Norddeutschlands sind besonders in der baltischen Seenplatte mit vielen Tausenden solcher nunmehr mit Wasser gefüllter Strudellöcher bedeckt, die unter dem Namen *Solle, Pfuhle* oder *Fenne* bekannt sind.

Wie Seen entstanden sind, so können sie wieder verschwinden, teils durch tektonische Kräfte, teils durch klimatische Veränderungen, wie eine Verminderung der Niederschläge oder durch Erosion. So hatte sich z. B. am Ende der letzten Eiszeit bei Innertkirchen im Haslital ein ziemlich großer ovaler Alpensee von rund 100 m Tiefe gebildet, der mit dem Ausfressen der Aareschlucht durch den sich dem Flusse entgegenstellenden Querriegel allmählich verschwand. Das Verschwinden des absperrenden Dammes hat zahlreiche durch die Gletscher der Eiszeit gebildete Stauseen zum Verschwinden gebracht oder sie doch in ihrer Größe mehr oder weniger beeinträchtigt. Das meiste aber zum Verschwindenlassen der Seen hat die Zuschüttung durch darein mündende Flüsse bewirkt, deren Sedimente schließlich das ganze Becken ausfüllen werden. Mit ihnen im Bunde arbeitet die pflanzliche Tätigkeit durch Vertorfung und die tierische durch Bildung von oft nicht unerheblichen Mengen von Süßwasserkalk aus angehäuften Schalen von Muscheln und Schnecken, welch letztere meist von sehr geringer Größe sind. Aus solchem frischen Material ist die *Seekreide* gebildet, die den Untergrund der nicht mehr von den Schlammablagerungen betroffenen unteren Teile des Seelaufs bildet. Feucht stellt sie eine bläulich weiße, höchst zähe Masse dar, die im trockenen Zustande ganz weiß wird. In den norddeutschen Moränenseen erreicht sie bis 3,5 m Mächtigkeit und bildet oft den undurchlässigen Untergrund von Torfmooren, der gelegentlich sogar zur Kalkgewinnung abgebaut wird.

Die Seen haben für das Land, dem sie in größerer Menge zuteil wurden, eine sehr große Bedeutung, indem sie nicht nur Klärbecken der trübe von den Bergen brausenden Ströme sind, sondern hauptsächlich auch Wasserreservoirs bilden, welche die Fülle der Schneeschmelze in ihren großen Becken zurückhalten und den Überfluß davon nur langsam

und ohne zu schaden wieder an die aus ihnen strömenden Flüsse abgeben. Gleichzeitig sind sie ein wichtiger klimatischer Faktor im Sinne der Temperaturausgleichung, indem sie, sich zwar langsamer als das umgebende Festland erwärmend, diese den Sommer über aufgenommene Wärme bis tief in den Winter hinein aufspeichern und nur allmählich

Fig. 192. Das Donautal bei Regensburg, welches vom Fluß in Juraschichten eingeschnitten wurde, über welchen teilweise noch Kreideschichten liegen. (Nach Photogramm von Dr. K. Leuchs.)

wieder abgeben. Dadurch sind ihre lieblichen Gestade am Fuße der Alpen die klimatisch bevorzugten, durch üppigstes Pflanzenwachstum ausgezeichneten Gegenden des sonst ziemlich rauhen Landes.

Das Wasser der Seen absorbiert die Gase der Luft, und zwar um so mehr, je kälter es ist und je größer der Druck ist, unter welchem es steht. Ein Tieflandsee ist also unter sonst gleichen Verhältnissen stets gasreicher als ein Hochlandsee. Die Farbe des Sees hängt wesentlich von der Menge und Art des zugeführten Flußschlammes ab.

Digitized by Google

Da reines Wasser in dickeren Schichten blau ist, so sind Seen mit fast chemisch reinem Wasser tiefblau, wie beispielsweise der Genfer- und Vierwaldstättersee. Noch herrlicher blau, selbst in einer Tiefe von wenigen Metern, ist der mit Recht als Naturwunder angestaunte kleine Blausee bei Kandersteg, dessen reizvoller Anblick jedem, der ihn gesehen hat, einen unauslöschlichen Eindruck hinterläßt.

Sind dagegen im Wasser nur geringe Spuren von Kalk aufgelöst, so entsteht eine tiefgrüne Farbe, wie sie der Königs-, Walchen- und Misurinasee besitzen. Durch Beimengung von organischen Säuren, besonders Huminsäure, infolge von Zufluß aus Mooren, wird die Farbe gelbgrün, wie wir dies am Würm- und Chiemsee beobachten. Je größer der Gehalt an diesen organischen Säuren, die von unter Luftabschluß vermodernden Pflanzen herrühren, um so bräunlicher wird die Farbe bis sie schließlich bei einem Maximum desselben in eine schwärzliche Farbe übergeht, wie wir dies an einigen moorreichen Alpenseen beobachten, wie beispielsweise am Lago nero, dem Schwarzsee, an der Berninastraße, die aus dem Engadin nach dem Veltlin führt.

Noch viel mehr als die chemische Zusammensetzung des Wassers bedingt dessen oberflächliche Belebung mit den als Plankton bezeichneten Schwebeorganismen die Färbung der Seen, die je nach ihrer Zusammensetzung mit den Jahreszeiten wechselt. Während im Meere viele tausend Arten dieser mikroskopisch kleinen Lebewesen vorhanden sind, finden wir deren im Süßwasser nur einige hundert, und zwar über die ganze Erde verbreitet dieselben. Bloß nimmt natürlich die Zahl der Arten nach den Polen hin, wo für sie ungünstige Lebensbedingungen herrschen, ab. Merkwürdigerweise ist ihr Schwerpunkt aber auch nicht in den Tropen, wie man erwarten sollte, sondern gerade in den gemäßigten Zonen.

Die Zusammensetzung des Süßwasserplanktons wechselt beständig. In unseren Breiten ist begreiflicherweise nach dem Ablauf der dem Leben feindlichen Winterkälte zu Beginn des Frühjahrs das Plankton am geringsten; deshalb ist in dieser Jahreszeit das Wasser der Seen klarer als zu jeder anderen, und das Licht dringt in größere Tiefen als später im Jahre. Während die kalten Alpenseen fast beständig blau oder blaugrün sind, trüben sich die wärmeren Seen des Tieflandes im Laufe des Aprils bis zum Mai und werden gelbbraun bis gelbgrün durch eine ungeheure Entwicklung von winzigen Diatomeen oder Kieselalgen. Im Laufe des Sommers wechselt aber ein Teil derselben seine Farbe, indem er mehr blaugrün erscheint durch das massen-

hafte Auftreten ebenso gefärbter einzelliger Algen, die gleicherweise wie im Frühjahr die Diatomeen nur in 2 bis 3 Arten, aber dafür in unglaublicher Menge auftreten.

Im Hochsommer geht dann die blaugrüne Farbe in ein Gelbgrün über durch das vorzugsweise Auftreten eines winzigen einzelligen Flagellaten, Ceratium hirundinella, bis gegen den Herbst mit der Abkühlung des Wassers das Gelbgrün wieder dunkler wird und in ein Gelbbraun verwandelt wird durch das Überhandnehmen derselben Diatomeen, die schon im Frühjahr die herrschenden an der Oberfläche der Seen gewesen waren. Noch später, zu Beginn des Winters kurz vor der Eisbildung, beginnen sich die Seen wieder zu klären, indem die Planktonorganismen teils zugrunde gehen, teils ihre Ruhestadien antreten in Form von Eiern, Sporen oder ganzen Individuen, die nach Abstoßung der Hüllen sich abrunden, ihre Beweglichkeit verlieren und sich in sehr dicke, meist braune und schwarze Schalen hüllen, in denen sie nach der wärmeren Tiefe sinken und da verweilen, wo das Wasser am spezifisch schwersten ist, d. h. die Temperatur von 4° C. erreicht hat.

Erst gegen das Frühjahr hin, wenn die höher steigende Sonne das Wasser der Seen zu erwärmen beginnt, sprengen diese als Rubecysten bezeichneten Dauerformen wie auch die Eier und Sporen ihre dicken Hüllen, und steigen durch die im Sonnenlichte beginnende Assimilation, wobei sie hauptsächlich spezifisch leichtes Fett bilden, an die Oberfläche, wo sie sich mit der zunehmenden Erwärmung des Wassers immer lebhafter vermehren.

Während die meisten Seen ihre Farbe in der oben angegebenen Reihenfolge verändern, behalten andere, die kälter bleiben, mehr oder weniger das ganze Jahr hindurch ihre gelbbraune Farbe bei, indem stets die wenig Ansprüche an Wärme machenden Diatomeen in ihnen überwiegen. Ja manche Alpenseen sind durch das massenhafte Auftreten einer sich mit einem Minimum von Wärme begnügenden Alge braunrot gefärbt.

Das Maximum der Diatomeenentwicklung erfolgt nach eingehenden neueren Untersuchungen hauptsächlich zwischen 6 und 16° C. Da nun alle unsere Seen zu einer gewissen Zeit im Jahre diese Temperatur erreichen, so bringen es gerade diese Kieselalgen in allen zu einer bedeutenden Entwicklung. Erst wenn das Wasser der oberflächlichen Schichten 16° C. erreicht hat, verschwinden fast alle Diatomeen, um dem mächtig überhand nehmenden Flagellaten Ceratium hirundinella Platz zu machen, dessen Maximum bei einer Temperatur von 18° C.

liegt. Die Farbe ändert sich dementsprechend von Gelbbraun zu Gelbgrün. Nur in Seen, deren Wasser noch höher erwärmt wird, treten die blaugrünen Algen, die ihr Maximum bei 20° C. haben, ihre Herrschaft an. Der See wird durch ihr Vorwiegen blaugrün. Ja, an stillen Sommerabenden, wenn der Wind sich gelegt hat und das Wasser in Ruhe ist, bedeckt er sich geradezu mit einer dicken blaugrünen Schicht, indem diese Algen in die Höhe steigen. Dann sagt man ‚der See blühe'. Solche Wasserblüte entsteht vorzugsweise in verhältnismäßig flachen Seen, deren Wasser sich im Sommer längere Zeit auf wenigstens 20° C. erwärmt, während tiefe kalte Seen, die das ganze Jahr hindurch gelbgrün oder gelbbraun sind und deren Wasser selbst im Hochsommer nur selten und bloß für wenige Tage sich auf 18° C. erwärmen, diese Wasserblüte nicht kennen, oder sie nur ganz ausnahmsweise in anhaltend heißen Sommern, wenn das Wasser einige Zeit hindurch 20° C. erreicht hat, aufweisen.

Weil nun die Diatomeen der Kälte am besten angepaßt sind und ihr Maximum bei der niedrigsten Temperatur erreichen, sind sie die wichtigsten Glieder der Schwebeflora unserer Seen und bilden die Hauptnahrungsquelle für den größten Teil des tierischen Planktons, ganz besonders der Kopepoden oder Wasserflöhe, die wiederum die Hauptnahrung der kleinen Fische sind, die dann den größeren und den Wasservögeln zum Fraße dienen. Im Meere dagegen werden die Kopepoden, wie bereits betont wurde, von etwas größeren Krebschen, den Schizopoden oder Spaltfüßern, verzehrt, die ihrerseits wieder in den Magen der Fische und Schwimmvögel wandern.

Da nun alle diese direkt oder indirekt von den winzigen Diatomeen leben, so nehmen sie außerordentliche Mengen von Öl in sich auf, weil das wichtigste Stoffwechselprodukt dieser mikroskopisch kleinen Pflänzchen ein in kugeligen Tropfen abgesondertes Öl von gelbroter Farbe ist, das nur deshalb nicht sichtbar wird, weil es in der Regel vom grünen Chrophyll verdeckt wird.

Nach dem Absterben sinkt der größte Teil des Planktons langsam durch die Wassermassen in die Tiefe und wird nun zum größten Teil von den im Wasser lebenden zahlreichen Bakterien verzehrt und ausgenützt. Schließlich, nach Wochen fallen ihre ungenießbaren Hüllen zu Boden und bilden da einen langsam sich im Laufe langer Zeiträume anhäufenden Niederschlag. Aber im Süßwasser bilden sich nie Kalkniederschläge von Planktonorganismen wie im Meere, da diese nie Kalkschalen bilden, sondern nur solche aus Kieselsäure, Chitin, Cutin oder

Cellulose. Der Seemergel oder die Seekreide, welche, wie wie wir vorhin erwähnten, den Untergrund der Seen bildet, stammt nämlich stets von Bodentieren, wie Muscheln und Schnecken oder Kalkalgen her, deren Kalkskelette pulverisiert werden und so diese Kalkansammlung bilden.

Von den widerstandsfähigsten Schalen, den Kieselsäureschalen der Diatomeen, bilden sich oft gewaltige Kieselsäureablagerungen, die wir in einem früheren Abschnitte als Kieselgur kennen gelernt haben. Dieses geschieht aber nur in flacheren Seen. In tieferen werden auch diese aufgelöst und es bildet sich keine Diatomeenerde. Das durch die Verwesung freigewordene Öl der Diatomeen aber gelangt allmählich durch sein geringes spezifisches Gewicht an die Oberfläche der Seen, in denen sie lebten und dann zugrunde gingen, und breitet sich hier aus. Während nun die Oberfläche der Seen vom Winde leicht gekräuselt wird, bilden die mit dem Öl der zugrunde gegangenen Diatomeen behafteten Stellen die so merkwürdig glattschimmernden, unregelmäßigen, ihre Gestalt und Ausdehnung sehr leicht ändernden Flecken, die man in der französischen Schweiz sehr richtig, ohne den richtigen Sachverhalt zu kennen, als taches d'huile bezeichnet. Denn in der Tat lassen sich ebensolche Flecken in Teichen erzeugen, auf die man ein sehr fettes Butterbrotpapier geworfen hat.

Das fette Diatomeenöl ist es aber auch in erster Linie, das die Wellen der Seen, besonders aber des Meeres, wie bereits früher mitgeteilt wurde, an der Brandung zu Schaumblasen aufwirft, wenn sie stetsfort gegen das Ufer schlagen, das auch den Fettgehalt des Meerwassers bedingt. Und wenn solche Diatomeen oder vorzugsweise von Diatomeen lebende Organismen — was ja schließlich auf dasselbe herauskommt — in großer Zahl am Meeresboden zugrunde gehen und von Sedimentablagerungen bedeckt unter Luftabschluß in der Tiefe destillieren, so entsteht eben das Erdöl oder Petroleum, das wir als von zugrunde gegangenen Organismen herrührendes Erzeugnis bereits kennen gelernt haben.

Wir können von den so interessanten Planktonorganismen der Seen nicht Abschied nehmen, ohne die Tatsache zu erwähnen, daß nach den neuesten Untersuchungen, wie Dr. C. Wesenberg-Lund berichtet, zahlreiche derselben im Laufe des Jahres ihre Form verändern. Bekanntlich wenden diese Organismen, die kein eigentliches Schwimmvermögen besitzen, zur Aufhaltung der Fallgeschwindigkeit das Prinzip der Oberflächenvergrößerung an durch seitliches Treiben von Dornen mit dazwischen

gespannten Gelatinehäutchen. Ihre Skelette sind zur Gewichtsverminderung sehr dünn im Gegensatz zu denen der Ufer- und Bodenformen. Das hat zur Folge, daß die meisten derselben sehr durchsichtig sind. Da nun die Fallgeschwindigkeit durch die Wassermassen nicht zu allen Jahreszeiten die gleiche ist, so müssen die Planktonorganismen, insofern sie sich schwebend erhalten wollen, ihre Organisation mit den Schwingungen des sie umgebenden Mediums in Übereinstimmung bringen. So sehen wir, daß solche, die im Winter ein Verhältnis der Längs- und Querachse von 2:1 haben, diese im Sommer, wo die Fallgeschwindigkeit eine größere ist, bis auf 5:1 steigern. Bevor man diese Verhältnisse kannte, glaubte man verschiedene Arten vor sich zu haben. Jetzt aber hat man eingesehen, daß dieselbe Art je nach den Wasserströmungen, in denen sie sich zu halten hat, sehr verschieden aussehen kann und hat infolgedessen begonnen, die Zahl der Arten erheblich zu reduzieren.

Viel seltener treten teilweise rötliche Färbungen der Seen auf, die von einzelligen, roten, chlorophyllhaltigen und wie Pflanzen assimilierenden einzelligen Flagellaten der Gattung Euglena oder winzigen Krebschen hervorgerufen werden.

Das Licht, das aus der Tiefe der Seen zurückgeworfen wird, ist nach den Beobachtungen der Schweizer Physiker Hagenbach und Soret polarisiert und niemals optisch leer, d. h. die aus ihnen austretenden Lichtstrahlen schwingen durch Reflexion nicht nur in einer Richtung, sondern sie besitzen auch durch Absorption der langsamer schwingenden längeren Lichtstrahlen, Rot und Gelb, an den das Wasser stets mehr oder weniger trübenden ultramikroskopischen Staubpartikelchen nur noch die schneller schwingenden kurzen Lichtarten, besonders Blau. Dabei hat v. Aufseß vor kurzem nachgewiesen, daß grüne Kalkwässer eine äußerst verdünnte kolloidale Lösung darstellen, in welcher die blaue Farbe des chemisch reinen Wassers in grün verändert wird. Ferner hat Spring gezeigt, daß die Humusstoffe, sowie die Eisenverbindungen unverträglich mit den Kalkverbindungen sind, indem letztere überall die ersteren zur Ausscheidung bringen und so eine Klärung des Wassers bewirken.

Das Wasser der Seen ist natürlich um so durchsichtiger, je weiter es von den trübenden Zuflüssen entfernt ist. Da im Genfersee eine Laubmoosart Hypnum Lemani noch in 60 m Tiefe vorkommt, so muß das Sonnenlicht noch so weit in das überaus klare Wasser jenes Beckens eindringen; denn sonst könnte das betreffende Pflänzchen in solcher Tiefe nicht mehr assimilieren. Man hat auch in der Tat im Genfersee bis zu Tiefen von 240 m noch schwache Lichteinwirkungen

Der Königssee 601 m in einem vom Gletscher ausgeschliffenen Trogtal gelegen.

Digitized by Google

auf Jod-Bromsilberplatten im März nachgewiesen. Das ist die äußerste Grenze, bis zu der bis jetzt in einem tadellos klaren See das Licht des Tages verfolgt werden konnte. Sonst hört dieses viel früher auf. So hört beispielsweise im Bodensee die Lichtempfindlichkeit photographischer Chlorsilberplatten im Sommer bei 30 m, im Winter dagegen bei 50 m auf. Schon in Tiefen von 30 und 70 m ist man blinden Seebewohnern aus der Familie der Krebse und Asseln begegnet. Das beweist, daß schon in etwa 100 m Tiefe fast vollkommene Dunkelheit herrschen muß.

Durch die Sonnenstrahlung erwärmt sich das Seewasser bedeutend an seiner Oberfläche; aber diese sommerliche Erwärmung, die bei uns im August etwa 20° C. erreicht, besteht nur 8 bis 10 m tief. Von da an nimmt die Temperatur rasch ab, bis in 40 bis 50 m die Jahrestemperatur von 4° C erreicht ist. Diese herrscht gleichmäßig bis in die untersten Tiefen. Da das Wasser seine größte Dichte bei + 4° C. hat, sinkt das sich abkühlende Wasser, das diese Temperatur erreicht hat, beständig zu Boden, bis die ganze Wassermasse + 4° C. warm ist. Dann erst können die oberflächlichsten Schichten sich noch weiter abkühlen, bis schließlich Eisbildung auftritt. Dieser glückliche Umstand bewirkt, daß die Seen nie in ihrer ganzen Tiefe gefrieren können, was für die zahlreiche darin hausende Lebewelt von der größten Wichtigkeit ist. Aus denselben

Fig. 193. Pfahlbau von Robenhausen mit den Überresten des einst die Hütten der hier vor etwa 6000 Jahren hausenden Menschen der jüngeren Steinzeit tragenden Pfahlrostes. Damals in freier See errichtet sind die Pfähle, von den Humusspuren des Torfmoores durchtränkt und in dem seither vollständig verlandeten Untergrund begraben bis heute in merkwürdig gutem Zustande erhalten geblieben, nur ist deren Holz vollkommen weich geworden, und erscheint teilweise von den Wurzeln der zuletzt auf der Decke angesammelten Riedgräser durchwachsen. Seit der Pfahlbauzeit ist die ganze Südhälfte des Pfäffikersees im Kanton Zürich vertorft und zu Land geworden, so daß beinahe 2 km diesen Pfahlbau vom heutigen Seeufer trennen.

Digitized by Google

Gründen bleiben im Sommer die erwärmten oberen Schichten als die leichtesten oben liegen, sodaß die Temperaturabnahme in den unteren Schichten nur infolge von langsam vor sich gehender Leitung erfolgen kann.

Aus dem Salzwasser sind nach und nach durch Vermittlung des Brackwassers in den Ästuarien und der Flüsse an das Süßwasser angepaßte Bewohner in die Seen eingedrungen, die für manche vom Untergang bedrohte Tierarten eine Zufluchtsstätte bildeten, wo sie sich am Leben erhalten konnten. Von den altertümlichen Krokodilen haben wir dies bereits angeführt. Ihnen sind die noch viel älteren bis zur Triaszeit zurückreichenden Schmelzschupper und Lungenfische gefolgt. Unter allen wasserbewohnenden Tieren sind die Amphibien die reinsten Süßwassertiere. Sie sind dem Leben im Süßwasser so vollkommen angepaßt, daß ihr Laich nur in ihm ausreifen kann; im Salzwasser dagegen wird er rasch getötet.

Ähnlich wie im Meere haben wir auch in den großen Seen, deren Tiefe an manchen Orten über 1000 m hinausreicht, eine Lebewelt der Küsten, eine davon abstammende Tierwelt der Tiefsee, die beide fast in jedem See örtliche Besonderheiten aufweisen, und endlich pelagische Formen. Diese letzteren, die Pflanzen und Tiere der Seeoberfläche, sind von nahezu kosmopolitischer Verbreitung. Wie auf dem Meere bilden sie ein Plankton von schwebenden Algen und Schwimmtierchen, welch letztere die meist vollkommen durchsichtig sind, in wenig Arten, aber in zahllosen Individuen die oberste, an der Luft liegende Schicht zwar am dichtesten bevölkern, aber durch alle Tiefen hindurchgehen. Auch gibt es hier, wie im Meere, zahllose winzige Krebschen und andere Lebewesen, welche die grelle Tagesbeleuchtung scheuend, nur nachts an die Oberfläche kommen, um mit Anbruch des Tages wieder in die dunkle Tiefe zurückzusinken.

„Die Tiefseebewohner des Süßwassers", sagt Ratzel, „finden weniger Licht, gleichmäßigere Wärme, eine gleichmäßigere Bodenbeschaffenheit und fast absolute Ruhe. Es herrschen hier also gleichmäßigere Bedingungen und daher auch eine gleichmäßigere Lebewelt. Grüne Pflanzen fehlen in der Regel wegen Mangel an Licht. Der Rasen der Characeen hört in etwa 25 m Tiefe auf, Pflanzenleben überhaupt geht wohl nicht über 100 m hinaus. Kann doch das Wasser auch der reinsten Seen nie so klar und also auch nie so lichtdurchsichtig sein, wie das einer so viel größeren Masse angehörige Meerwasser. Forel nennt für die Tiefen des Genfersees 14 Fische, 28 Gliedertiere (davon 16 Kruster, 6 Weichtiere, 30 Würmer, eine Hydra, 31 Protozoen. Das Leben nimmt

nach der Tiefe ab, aber selbst aus den tiefsten Seen sind Lebewesen schon heraufgebracht worden. Auch die Bewohner der Tiefen unserer Seen erleiden zahlreiche Veränderungen gegenüber ihren anderen Zonen angehörenden Verwandten. Die Schaltiere werden dünnschaliger, Limnäus (die Schlammschnecke) hat hier eine mit Wasser gefüllte Lungenhöhle, Fredericella befestigt sich nicht an festen Körpern, sondern liegt im Schlamm. Spärlich sind wie im Meere die Bewohner mittlerer Schichten, zu denen die treffend benannte Schwebeforelle (Salmo lacustris) des Bodensees gehört."

Wie wir den überall auf der Erdoberfläche, soweit genügend Feuchtigkeit vorhanden ist, sich bildenden Humus als das Produkt des Exkrementierungsprozesses der von abgestorbenen Pflanzenstoffen im Boden lebenden Regenwürmer kennen gelernt haben, so ist die graugelbliche, außerordentlich feinpulverisierte Schicht von Schlick, die an den Rändern aller stehenden Wässer, ebenfalls des Meeres, abgelagert wird, auch nur eine Exkrementablagerung von kleinen Wasserflöhen, Fliegenlarven und winzigen Krebschen, die aus dem Schlamme die letzten Spuren der in ihm enthaltenen organischen Stoffe ausziehen und für sich verwenden. Ja der grauschwarze, übelriechende Schlamm selbst, den wir aus dem Grunde unserer Seen herausholen, welchen wir gleicherweise bei niederem Wasserstande in den trockengelegten Teilen eines Flußbettes antreffen, ist nicht nur eine Ansammlung niedergesunkener organischer und anorganischer Bestandteile, sondern auch nur das Produkt eines Exkrementierungsprozesses, der durch Mückenlarven, Flachwürmer, Bohnenmuscheln und besonders den 6—7 cm langen, aber nicht dicker als ein Zwirnsfaden werdenden Regenwürmern besorgt wird, die überall am Boden der Wasseransammlungen von den zu Boden sinkenden organischen Stoffen leben. Nur was für diese zahllosen Tierchen unverdaulich ist, kommt als Seeschlamm zur Ablagerung. Dieser Schlamm wird in der Nähe des Landes vorwiegend aus Schneckenexkrementen gebildet, der bis zu Tiefen von 100 m an vielen Orten vorzuherrschen scheint.

Wenn nun der Schlamm der Seen wie der Humusboden und der Schlick der Marschen an den Küsten nur eine Exkrementablagerung ist, so können wir uns einen Begriff davon machen, was für ein unglaublich reges Kleintierleben auf der ganzen Erdoberfläche, unseren Augen in der Regel unsichtbar, herrschen muß. Nur da ist die Erde ausnahmsweise nicht von Exkrementen bedeckt, wo infolge ungünstiger Lebensbedingungen für diese Organismen durch Austrocknung des

Bodens die pflanzlichen Abfallstoffe sich häufen, nicht beständig durch jene aufgerührt sich höchst unvollständig zersetzen und zu sauer reagierenden Haidemoorbildungen Veranlassung geben. Außer diesen gibt es noch eine andere Erdart, die ohne Exkrementierungsprozeß entsteht, nämlich der Torf. Wo der Erdboden beständig feucht und der Luftzutritt daher gering ist, werden die organischen Abfallstoffe ebenfalls fast unzersetzt abgelagert und es bildet sich der stark sauer reagierende Torf. Es sind also beide Gebilde sehr nahe mit einander verwandt. Haidemoor entsteht auf trockenem Lande, Torf dagegen unter Wasser oder auf feuchtem Boden. Mit dieser Vertorfung schließt der Prozeß des Verschwindens der Seen infolge von Verlandung.

Alle Seen sind vergängliche Gebilde, dazu vorausbestimmt, einmal vom Schlamm der darein mündenden Flüsse und Bäche ausgefüllt zu werden und damit zu verlanden. Je flacher dabei ihre Ufer durch die darin abgelagerten Anschwemmungsprodukte werden, um so weiter dringen die Strandpflanzen ins Wasser hinein, nachdem sich zahllose Algen und, als äußerste Vorposten der Uferbestände, Seerosen, Nixenblumen und Knöterich schon im tieferen Wasser angesiedelt haben. Mit ihren Stengeln bilden sie ein schwer entwirrbares Netz und dienen gleichzeitig einer mannigfaltigen Tierwelt als sichere Schlupfwinkel. Beim Absterben aber sinken ihre toten Leiber zu Boden. Immer höher steigt infolgedessen die Moderschicht am Grunde und dadurch wird der See stets flacher und seichter. Immer weiter hinaus greifen nun die Schilfansiedelungen. Sie füllen den Seeboden immer höher mit ihrem den Schlamm sammelndem Wurzelwerke an, bis schließlich Rohrkolben und mannigfaltige Binsen vom sumpfigen Boden Besitz ergreifen. Je mehr das Wasser schwindet, um so mehr Pflanzenarten stellen sich auf dem schwankenden Boden ein. Die Sauergräser, insbesondere die Seggenarten, beginnen als ‚Kerntruppen der Verlandung‘ vorzuherrschen, um bei fortschreitender Trockenlegung des Bodens wieder anderen, den veränderten Lebensbedingungen besser angepaßten Pflanzenarten, besonders ihren kleineren Artgenossen Platz zu machen.

Damit ist der freie Wasserspiegel verschwunden und an Stelle des lieblichen Sees ist ein unansehnliches Moor getreten, und zwar ein ‚Niederungsmoor‘, bedingt durch die Anwesenheit nährstoffreichen Wassers, welches das Wachstum der obengenannten anspruchsvollen Gewächse ermöglicht und gleichzeitig durch Abschluß der Luft die Umbildung der pflanzlichen Überreste zu Torf begünstigt. Eine

reichhaltige Flora belebt die immer intensiver von der Pflanzenwelt in Besitz genommene Fläche.

So folgen zahlreiche Pflanzengenerationen aufeinander. Immer mehr erschöpft sich namentlich auch durch die atmosphärischen Niederschläge der Reichtum des Bodens an Nährsalzen. Die in dieser Beziehung anspruchsvollen Gewächse finden keine Stätte mehr zu üppigem Gedeihen. Ihr Bestand wird lichter und lichter. Aber wo sie weichen,

Fig. 194. Der Moserboden am Groß-Glockner als Typus eines auf ehemals vergletscherten Gebiete entstandenen Hochmoores. Rechts davon das breite Bett des seinen Lauf vielfach wechselnden Baches, der die Schmelzwässer des im Hintergrunde mit seiner Mittelmoräne sichtbaren Karlingergletschers davonführt. (Nach Photogramm von Würthle & Sohn.)

da finden sich andere Gäste ein, wenn auch geringer an Zahl der Arten, so doch nicht an solchen der Individuen. Es sind dies die Vorposten der Hochmoorflora, die bis dahin an der reich besetzten Tafel nicht mithalten konnten, sondern bescheiden zurücktreten mußten.

Wie das Besenried das Schlußglied der Verlandung ist, so ist es gleichzeitig ein Übergangsglied zur Hochmoorbildung, die stets an das

Digitized by Google

Vorkommen von nährstoffarmem Wasser in reichlicher Menge gebunden ist. Da die zentralen Teile des Moores infolge der Art ihrer Bildung von Anfang an besonders nährstoffarm und feucht sind, siedelt sich die Übergangsvegetation zuerst dort an, und ihr folgen bald die eigentichen Hochmoorbildner, die Torfmoose, nach, von denen Limpricht sagt, daß sie „gleichsam als Überrest einer früheren Schöpfungsperiode fremdartig und unvermittelt der übrigen Mooswelt gegenüberstehen.“

Die vermöge ihrer eigenartigen Struktur das atmosphärische Wasser wie ein Schwamm festhaltenden und es gleichzeitig aus dem Untergrunde emporsaugenden Torfmoorpolster schwellen immer gewaltiger an und breiten sich immer energischer nach allen Seiten aus, jede andere Vegetation einfach erstickend. Wie die Korallentiere und Kalkalgen haben sie gewissermaßen das Problem der Unsterblichkeit gelöst. Mögen auch ihre unteren Enden jeweilen absterben, ihre Spitzen wachsen unentwegt weiter. Wenn auch ringsum durch sie das Land versumpft, so dient das ihnen nur zu immer weiterem Umsichgreifenkönnen; denn dadurch werden die Lebensbedingungen für sie immer günstiger. Nur wenige höhere Pflanzen haben sich den besonderen Verhältnissen der Torfmoosrasen angepaßt, so besonders das Wollgras, verschiedene Haidekrautarten, die Moosbeere und Verwandte, die Zwergkiefer und verschiedene Insekten fangende und fressende Pflänzchen, wie der Sonnentau und das Fettkraut, die auf dem überaus mageren Boden, auf dem sie sich angesiedelt haben, kaum fortkommen könnten, wenn sie sich nicht mit dem Insektenfange eine zur Bestreitung ihres bescheidenen Daseins genügende Nebeneinnahme an Nährstoffen gesichert hätten.

Das aus Torfmoos bestehende Hochmoor, das wir gleicherweise in größter Verbreitung auf der früher besprochenen nordischen Tundra antreffen, über dem die mit Feuchtigkeit gesättigte Luft bei ihrer stärkeren Abkühlung mit Ende des Sommers in dichten Nebelschwaden lagert, ist das Schlußstadium der eigentlichen Moorbildung. Ein Darüberhinaus gibt es nicht. So lange die zugeführten Wassermengen zu ihrem Weiterbestande genügen, steigen die Torfmoospolster immer höher empor und dehnen sich immer weiter nach allen Seiten aus. Erst die zunehmende Trockenheit, ihr größter Feind, tötet sie, und damit wird das ehemalige Torfmoor anderen Pflanzenverbänden zugänglich. Hauptsächlich siedeln sich wiederum Gräserarten an oder Waldbestände schieben sich ein.

Das in der Tiefe durch die konservierenden Humussäuren in Torf verwandelte Torfmoos dient uns nicht nur als wertvolles Heizmaterial,

sondern wenn ihm künstlich durch Düngung genügend Nährsalze zugeführt und es gleichzeitig entwässert werden kann, so liefert der Moorboden dem Landmanne auch Ernten, die weder an Qualität noch an Quantität solchen auf gutem Mineralboden nachstehen.

So muß schließlich alles dazu dienen, dem Leben auf Erden, dessen Werdegang wir in folgendem Bande näher treten wollen, die Wege zu ebnen und ihm überall zum Siege zu verhelfen!

Namen- und Sachregister.

Aal 427
Abdämmungsseen 560
Aberration 26
Abgliederungsseen 560
Abich 335
Ackerkrume 488
Adams 105
Äquinoktialpunkte 2, 117
Ästuarium 431
Ätna 241
Aitken 92
Alfons X. 6
Algen 224
Algol 36
Alkor 33
Almagest 6
Al Mamun 111
Alpenfaltung 371
Alpenrosen 487, 533
Altwasser 557
Alveolinen 303
Ammoniten 317
Anaximandros 3
Anceaux 71
Anderson 42, 43
Andromedanebel 49
Anhydrit 293
Anthrazit 331
Anticyclonen 132
Antiklinalen 358
Apennin 152
Aphel 10
Apogäum 10, 147
Apophysen 208
Apsiden 10
Areg 509
Arends 414
Ariel 104
Aristoteles 25, 110, 160
Arkturus 27
d'Arrest 180
Arrhenius 50, 132, 165, 452
Asche 154, 245
Asiderit 198
Asphalt 332
Astraea 88
Atoll 312
Atollseen 561
Aufforstung 534
Aufschüttungsebene 553
Auffeß 568
Augit 212
Augitphorphyr 215
Ausräumungsseen 561
Auwers 41

Backlund 172
Bäche 472
Baëff 554
Bär 292
Bär großer 28
Bätylien 189
Baille 119
Balmen 537
Baltzer 542, 543
Bandai 249
Barnard 92, 95, 102
Barranco 272
Basalt 120, 217
Bates 452
Baumberger 362
Beaumont 207
Beloposki 32
Berberich 84, 86, 168, 180
Bergkristall 212
Bergwind 131
Bergsturz 344, 526
Berthelon 190
Bessel 162
Beteigeuze 28
Biela 173, 176
Bimstein 122, 236
Biotitgranit 213
Bitumer 332
Blaugrund 270
Blitz 245, 257, 285, 456
Blitzröhren 457
Blocklava 218
Blöcke erratische 469
Blumer 541, 546
Bodendüngung 493
Böschung 526, 537
Bohrmuscheln 396, 398
Boliden 188
Bonpland 187
Bonnevillesee 477
Bora 136
Borelli 162
Bouguer 113
Bouvilles 533
Boys 119
Bradley 26
Brandung 405
Braunkohle 331
Breccie 271, 289

Digitized by Google

Bredichin 180
Brenner 72
Brennpunkt 8
Brogniart 206
Brom 241
Brorsen 180
Brückner 336, 445, 465
Bruchspalten 243
Brunnow 180
Brunowski 41
Buch 204
Bündnerschiefer 374

Caldera 268
Caledonisches Gebirge 392
Campbell 31
Canjon 549
Carlini 119
Carnallit 295
Cassini 113
Cavendish 119
Ceres 83
Challis 105
Chamberlin 49
Chassignit 199
Chitin 566
Chladni 190
Chloride 221
Chlorophyll 141, 566
Chondrit 199
Chromosphäre 67
Cirrhipedier 416
Cirrus 448
Clairault 113, 168
Clark 29
Comben 367
Comstock 34
Cook 401
Cornu 119
Crinoiden 316
Cuvier 206
Cvijics 502

Dactyloporiden 319
Dämmerungs-erscheinungen 251
Damoiseau 170
Dammerde 488
Dana 323
Darrel 256
Darwin 242, 312, 423, 489
Daubrée 198, 240
De Bary 514
Decke 382
Deimos 75
Delombre 94
Delta 414, 417, 558
Deluc 190
Denning 180
Depression zentrale 561
Deslandres 69
Diabas 214
Diabasporphyr 215
Diamant 271
Diatomeen 323, 564, 567
Dione 99
Diorit 214
Diskordanz 355, 391
Dislokationsbeben 341
Dörfel 162
Dolomieu 320
Dolomit 143, 320*
Dolomiten 322
Doline 502
Donner 457
Doppelkometen 175
Doppelsterne 31
Doppler 19
Dove 449
Dreikanter 506
Dreikörperproblem 13
Dünen 510
Dunkelboden 488
Dynamo-metamorphose 214, 360

Echinodermen 316
Ehrenberg 225
Einbruchseen 559
Einsturzbeben 338
Eisberg 466
Eisen 120, 121, 216
Eisenmeteorite 195
Eissturz 466
Ekliptik 1
Elektrizität 16
Ellipsen 8, 9
Elm 530
Eluvium 496
Enceladus 99
Encke 105, 170
Endseen 475
Entgasung 278
Erdbeben 337
Erde 110, 164
Erdkern 120
Erdöl 332
Erdpyramiden 534
Erdrinde 124
Erdwachs 333
Erdweite 14
Erathosthenes 111
Eros 85
Erosion 284
Erosionstal 537
Erstarrungsgesteine 208
Escher von der Linth 273
Euganeen 274
Eukrit 199
Euler 15
Exkrementablagerungen 490, 571
Explosionsseen 560
Explosionstrichter 269
Exzentrizität 9
Eyth 158

Fabricius 39
Falten 358
Faltengebirge 243
Farben der Seen 563*
Feldspat 212
Felsenmeer 494
Felstrichter 501
Fenne 562
Ferdinandea 264
Fernel 112
Fernrohr 17
Feuer, ewiges 335
Feuerkugeln 186
Feuersteinknollen 392

Digitized by Google

Findlingsblöcke 469
Fingalshöhle 232
Fjorde 397, 419
Firneis 462
Firngrenze 462
Fische 115
Fizeau 21
Flexur 358
Flims 531
Florideen 320
Flüsse 472
Flüssigkeitseinschlüsse 278
Flysch 374, 382
Föhn 134
Foraminiferen 122, 298
Forbes 171
Forel 422, 465, 570
Foucault 21
Fouqué 339
Fraas 333
Frauenhofer 19
Fresnel 16
Freycinet 88
Frisch 461
Fumarolen 220, 247, 279
Fusulinenkalke 303

Gabbro 215
Galilei 7, 11, 92
Galle 105
Gambart 174
Ganggesteine 203
Gase, atmosphärische 139
Gauß 84, 162
Gautier 278
Gebirgsbildung 336
Geiser 224
Gekröselava 218
Geröllablagerung 554
Geröllterrasse 469
Gerölltransport 553
Geschwindigkeiten 22
Gesteinszerstörung 482
Gewicht der Erde 119
Gewitter 452
Gilbert 209
Gips 293
Glatteis 446
Gletscher 464
Gletschermühle 468
Gletscherschliff 467
Glimmer 212
Globigerinenschlamm 299, 301
Gneis 214
Goldau 526
Goldieri 225
Gotthard 124
Grabenversenkung 351
Gradmessung 111
Granit 120, 211
Granitit 213, 278
Graphit 330
Graupelkörner 459
Gravitation 13
Gruson 157
Gümbel 323
Gürich 332
Gully 42

Hagel 459
Hagenbach 568
Haidemoor 572
Haifischzähne 326
Hale 68
Hall 205
Halley 162, 168
Hammâda 509
Hansen 149
Harzer 85
Haube 165
Haufenwolke 134, 448
Haughton 444
Hauser 185
Hautal 209
Hebe 83
Hebungen 396
Hedin 476, 514
Heim 360, 389, 531, 558
Helgoland 411
Helium 69, 139
Helland 523
Helmholtz 57, 65, 66, 457
Helvetan 364
Herschel 31, 34, 100, 101
Herz 16
Heß 539
Hevel 39, 162
Himmelsäquator 1
Hind 41
Hipparchos 4
Hochgebirgskalk 374
Hochmoore 573, 574
Hochstetter 228
Höhlen 501
Hoff 207
Hofmann 206, 229
Holwarda 39
Hornblende 212
Hornblendegranit 214
Hornstein 374
Horst 352
Humboldt 187, 204
Humus 490, 571
Huronisches Gebirge 393
Hutton 118, 205
Huygens 15, 16, 97, 100, 113
Hyperbel 9, 159
Hyperion 100

James 119
Janson 41
Japetus 100
Infiltrationswasser 243
Infrarot 17
Inselberge 509
Inseln 408, 557
Intrusion 209
Jod 244
Juno 83
Jupiter 89, 164
Jupitermonde 92
Juveniles Wasser 223

Kaiser 102
Kalk 288, 297
Kalkalgen 319
Kalkschwämme 303
Kalksinter 471
Kalusz 295
Kant 49
Kaolin 288, 484

Kar 544
Karlsbad 222
Karrenbildung 499
Karstländer 474, 503
Karwendel 351
Kastor 32
Keilhack 560
Keller 435
Kennel 433
Kepler 7, 41
Kesselbruch 351
Kettenjura 365
Kiesbänke 556
Kieselalgen 323, 566
Kilauea 91, 261
Klein 155
Klinkerfues 176
Klippen 382
Klusen 368
Knistersalz 295
Knotenpunkte 147
Kochsalz 283, 290
Kohlengestein 329
Kohlenmeteorit 198
Kohlensäure 140, 144, 222
Kohlenstoff 329
Kolumbus 110
Kometen 159
Konglomerate 289
Kontaktmetamorphose 210
Kontinentalstufe 406
Konvergenzpunkt 177
Kopernikus 6
Korallen 303
Korona 69
Krakatau 249
Krieger-Mendel 119
Kryokonit 193
Kryptosiderit 198
Küstenablagerungen 414, 570
Küstenstrom 414
Küstenterrassen 317
Küstentypus 405
Küstenversetzung 414

Labradorporphyr 215
Lachs 428
La Condamine 113
Lagunenseen 561
Lahire 113
Lakkolithen 209
Lalande 106
Lamont 106
Lampland 80
Landerer 156
Langley 150, 155
Lanken 561
Lapilli 236
Laplace 49, 87, 108
Lasaulx 230
Lassell 104
Laterit 495
Lava 217
Lavagrotten 232
Lavoisier 123
Lehm 288, 515
Leitfossilien 206
Leithakalk 319
Leoniden 186
Lepaute 168
Leptocephalen 427
Letten 352
Leucit 212
Le Verrier 105, 116
Lewy 339
Lias 374
Libration 149
Libysche Wüste 510
Licht 15
Lipari 264
Lithothamnien 319
Litoralzone 406
Littrow 187
Lockyer 200
Löß 505, 515
Lößmännchen 515
Lowell 77, 80
Lübecke 210
Lufthülle 124
Luftsattel 366, 375
Luftwirbel 132
Lugano 215
Lugeon 384
Luvini 456
Lyell 206, 207
Lyra 38

Maar 268
Mädler 152
Magelhaens 111
Magma 124, 208
Magneteisen 120
Maille 460
Mangroven 415
Mars 75, 164
Martinique 251
Maskelyne 118
Massengesteine 207
Matterhorn 507
Mauna Kea 261
Mauna Loa 260
Maupertuis 113
Maxwell 16
Mayer 59
Meeresströmungen 442
Meereswellen 410
Meerwasser 424
Melaphyr 215
Mendenhall 119
Merkur 72, 164
Meteore 181
Meyer 166
Milchstraße 25
Miliolideen 303
Milne 348
Mimas 99
Mineralwasser 222
Mira 39
Mistral 136
Mittelgebirge 355
Mittelschenkel 359
Mizar 33
Mofetten 222, 279
Moissan 200, 255
Moldauite 200
Mond 146
Mondkrater 151
Monsune 131
Montanari 36

Moorbildungen 415, 572
Moränen 465, 468
Moulton 49
Münz 488
Murbrüche 473
Muren 532
Murray 498
Muschelkalk 317

Nagelfluh 289
Nairz 456
Namar 228
Natterer 438
Nebel 446
Nebelfleck 43, 48
Nehrungen 415
Nephelin 212
Neptun 104, 164
Neptunismus 205
Neumann 196
Neumayr 393, 496, 532
Newcomb 21, 66
Newton 12, 113, 162
Newton Am. 184
Niagara 551
Niederungsmoore 572
Nießl 184, 186
Niles 393
Nitrobakterien 487
Nordenskjöld 121, 193
Nordpol 1
Normalnull 115
Norwood 112
Nulliporenkalk 320
Nummulitenkalk 303
Nutation 118, 156

Oberon 104
Obsidian 156, 234
Olbers 84, 162, 167, 174
Oligoklas 213
Oligosiderit 198
Olivin 120, 199, 212
Opal 212
Orion 32
Orthoklas 213
Oxfordcombe 367
Oxyde 35

Ozeane 401
Ozokerit 333

Paläontologie 206
Palagonit 267
Palitzsch 168
Pallas 83, 197
Parabel 9, 159
Parallaxe 26
Passat 130
Paßwang 366
Pegmatit 213
Penck 272, 552
Pendel 112
Pénéplaine 391
Perigäum 10, 147
Perihel 10
Perrine 92
Perrotin 21
Perseiden 186
Petersen 106
Petroleum 332, 439, 567
Pfaff 287
Pfahlbau 569
Pflanzenbarrièren 557
Pfuhle 562
Phobos 75
Phöbe 100
Photosphäre 67
Piazzi 83
Picard 112
Pickering 33, 42, 80, 99, 100, 101, 154
Piezoglypten 201
Pinienwolke 245, 455
Plancton 564
Planeten 3
Planetoiden 83
Playfair 205
Plinius 231, 245, 281, 432
Pogson 177
Polarisation 568
Polston 119
Polysiderit 198
Pontécoulant 170
Porphyr 210, 215
Porzellanerde 288

Pozzuoli 395
Präcession 118, 156
Prismen 17
Procopius 245
Proctor 50
Protogin 214, 364
Protuberanzen 68
Ptolemäus 5
Pythagoras 4, 110

Quartenschiefer 378
Quarz 212, 484
Quelle 470

Radiationspunkt 176
Radiolarien 324
Raleigh 140
Ralligsandstein 375
Ramsay 140
Rapakiwi 494
Ratzel 398, 408, 418, 425, 490, 556, 570
Rauhreif 446
Reade 558
Regen 449
Regentropfen 460
Regenwürmer 489, 571
Reliktenseen 434
Rhät 373
Rhea 99
Rheintalsenke 352
Riasküsten 419
Richarz 119
Richer 112
Richter 543
Richthofen 283, 519
Ries 210
Riffstein 306
Riggenbach 456
Rillen 155
Rinnenseen 561
Ritter 402
Roberts 171
Römer 94
Rötidolomit 373
Roggenstock 383
Rose 198
Rosenberger 170

Rotalgen 320
Rotationsellipsoid 113
Rücken, mittelatlant. 407
Rümker 172
Rütimeyer 541
Ruffi 532

Sahara 508
Salsen 228
Salzgehalt des Meeres 436
Salzgestein 290
Salzseen 475
Sambesi 552
Sand 288
Sandbänke 556
Sandgebläse 505
Sandmergel 289
Sandstein 289
Sandsturm 514
Sandwüste 509
Santorin 264
Sapper 254
Saturn 94, 164
Saturnring 97
Sauerstoff 140, 440
Saussure 205
Saussürit 364
Scheiner 37
Schiaparelli 72, 181
Schiefe der Ekliptik 2, 117
Schiefer 289
Schlackenkegel 221
Schlagintweit 149
Schlammsprudel 335
Schlammstrom 255
Schlammvulkan 228
Schlern 313, 321
Schlerndolomit 373
Schlick 571
Schmidt Carl 362, 377
Schmidt Julius 180, 183, 339
Schmidt S. 41
Schnecken 317, 571
Schnee 460
Schneeflocken 460
Schotter 530
Schrattenfelder 499
Schutthalden 287
Schuttkegel 473
Schuttlager 525
Schwabe 35
Schwarzerde 488
Schwebeorganismen 564
Schwemmboden 495
Schwemminseln 414, 556
Scirocco 135
Scrope 206, 218, 219
Secchi 184
Sedimente 284
Seeigel 317
Seekreide 562, 567
Seeliger 43, 87, 98
Seeschlamm 571
Seismometer 340
Semper 432
Seneca 160
Senkungen 396
Septarienton 352
Séracs 461, 466
Sickerwasser 483
Silikate 124, 212, 287
Simplon 124, 377
Sinterkrusten 221
Sintflut 347
Sirius 27, 28
Smith 206
Snell 112
Soffioni 263
Sohnke 456
Solfataren 222, 225, 279
Solle 562
Solstitialpunkte 2, 117
Sonne 59
Sonnenfleck 67, 70
Sonnenjahr 118
Soret 568
Soufrière 256
Spektralanalyse 18
Sphären 3
Sphäroid 113
Spiralnebel 49
Spöser 521
Sporadosiderit 198
Spring 558, 568
Sprudelstein 472
Stalagmiten 471
Stalaktiten 471
Staub, irdischer 145, 568
Staub, kosmischer 121
Staßfurt 294
Steilküste 243
Steinbreche 487
Steinmann 271, 353
Steinmeteorite 196
Steinwüste 509
Stephani 70
Stephenson 553
Steppe 515
Stevenson 405
Sterlet 430
Sterne 24
Sternjahr 118
Sternschnuppen 182
Stoklasa 280
Stör 430
Störungen 13
Strahlentiere 325
Strandlinien 396
Stratigraphie 206
Stromboli 262
Struktur 210
Struve 94
Stürme 134
Sturmflut 347
Südpol 1
Sueß 223, 348, 352, 405
Süßwasserplancton 564
Sumpfgas 330
Surell 555
Syenit 214
Syenitgneis 214
Syenitgranit 214
Synklinale 358

Täler 535, 546
Tafeljura 356
Talanfang 544
Talkschiefer 289
Talsperren 534

Digitized by Google

Talstadien 550
Talstufen 541
Talwind 131
Tange 416
Tarawera 261
Tau 446
Tempel 187
Temperaturwechsel 286, 485
Terra rossa 496
Terrassen 539
Themis 100
Thetys 99
Thompson 66, 157
Thule 85
Tiefengesteine 208
Tiefenstufen, geothermische 123
Tiefsee 440, 570
Tiefseeton, roter 122, 326
Tierkreis 2
Tillo 522
Tintenfische 316
Tissandier 122
Titan 99
Titania 104
Tonerde 212, 288, 484
Torf 330, 572
Torfküste 416
Torfmoose 574
Toscanelli 110
Trachyt 218
Transgressionen 479
Traß 237
Trautschold 496
Treibeis 416
Trockentäler 512
Trogtäler 537, 539
Trümmergesteine 522
Trümmerlawine 528
Tschernosem 488
Tuff 236
Tundra 521
Tuttle 187
Tycho Brahe 8, 40
Typhone 136

Ultraviolett 17
Umbriel 107
Umlaufszeit, synodische 76
Uranus 102

Vadose Quellen 223
Variscisches Gebirge 355, 370, 392
Venus 74, 164
Verbeeck 250
Verlandung 572
Verrucano 372
Verwerfung 350
Verwitterung 282, 480
Very 150
Vesta 83
Vesuv 244
Vogel 31, 37, 166
Voigt 151, 205
Volcano 263
Vulkangeisir 262
Vulkanismus 205, 241
Vulkansand 236, 242

Wackelsteine 494
Wadi 512
Wärmegewitter 453
Waltershausen 228
Walther 308, 314
Walker 106
Wasserfälle 551
Wasservulkane 223
Weber 209
Wega 27, 29, 30
Weltachse 1
Weltenembryo 47
Werner 204
Wesenberg 567
Wetterleuchten 456
Wettersteinkalk 373
Whitney 403
Widmannstätten 196
Wieliczka 295
Wild 460
Wildbäche 473, 532
Williams 155
Winde 129
Wirbelgewitter 454
With 85
Wolf 83
Wüsten 505, 507

Young 63

Zaym 529
Zenger 506
Zittel 509
Zodiakallicht 157
Zodiakus 2
Zöllner 156

Der Mensch zur Eiszeit in Europa

und seine Kulturentwicklung bis zum Ende der Steinzeit

von

Dr. Ludwig Reinhardt.

Mit 186 Abbildungen und farbigem Umschlag nach Aquarell von A. Thomann.
VIII und 504 Seiten gr. 8°.

Preis brosch. Mk. 7.—, elegant geb. Mk. 8.50.

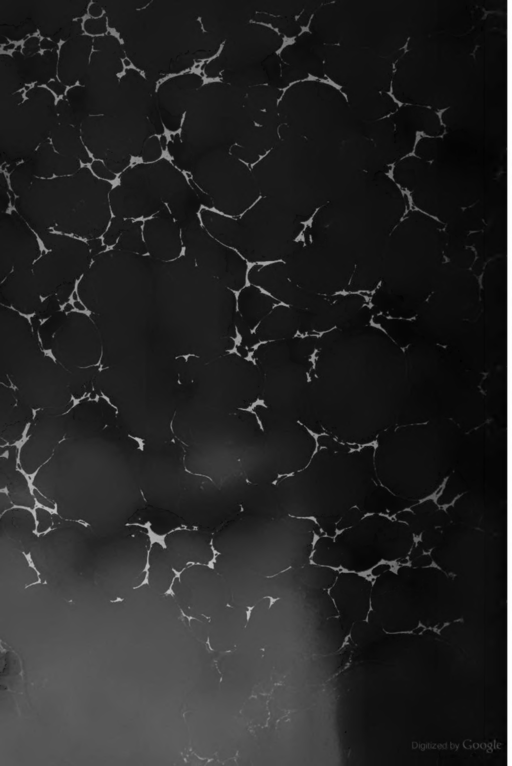
Inhaltsverzeichnis:

I. Der Mensch zur Tertiärzeit. II. Die Eiszeit und ihre geologischen Wirkungen. III. Der Mensch während den ersten Zwischeneiszeiten. IV. Der Mensch der letzten Zwischeneiszeit. V. Der Mensch der frühen Nacheiszeit. VI. Die Übergangsperiode von der älteren zur jüngeren Steinzeit. VII. Die jüngere Steinzeit und ihre materiellen Kulturerwerbungen. VIII. Die Germanen als Träger der megalithischen Kultur. IX. Die Entwicklung der geistigen Kultur am Ende der Steinzeit. X. Steinzeitmenschen der Gegenwart. XI. Niederschläge aus alter Zeit in Sitten und Anschauungen der geschichtlichen Europäer.

Urteile der Presse:

„Geologisches Centralblatt" vom 1. Aug. 1906. Das Buch ist unstreitig das beste was über diesen Gegenstand vorhanden ist.

Digitized by Google



Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06959 2494
Digitized by Google

Digitized by Google